

# Detekce emočního napětí

Jakub Süsz

---

Bakalářská práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub Süsz**  
Osobní číslo: **A11201**  
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Detekce emočního napětí**  
Téma anglicky: **Emotional Stress Detection**

## Zásady pro vypracování:

1. Provedte rešerši současných metod na poli fyziodetekce.
2. Rozeberte princip detektorů emočního stresu běžně užívaných v praxi.
3. Zaměřte se na nové i experimentální možnosti detekce emocí, např. elektroencefalografii (EEG) a funkční magnetickou rezonanci (fMRI).
4. Na základě rešerše shrňte výhody a nevýhody jednotlivých přístupů a celkové srovnání z hlediska náročnosti jejich technické realizace i přesnosti.
5. Citujte použitou literaturu dle požadavků na vypracování bakalářské práce.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. SKOLNICK, Jerome H. Scientific theory and scientific evidence: An Analysis of Lie-Detection. The Yale Law Journal, 1961, vol. 70, no. 5, p. 694 728.
2. SIMPSON, Joseph R. Functional MRI Lie Detection: Too Good to be True? Journal of the American Academy of Psychiatry and the Law Online, 2008, vol. 36, no. 4, p. 491 498.
3. WOLPE, P. R., FOSTER, K., LANGLEBEN, D. D. Emerging neurotechnologies for lie-detection: promises and perils. American Journal of Bioethics, 2005, vol. 5, no. 2, p. 39-49.
4. NIEDERMAYER, E., DA SILVA, F.L. Electroencephalography: Basic principles, Clinical Applications and Related Fields, 2004.
5. CARR, V. A., RISSMAN, J., WAGNER, A. D. Imaging the medial temporal lobe with high-resolution fMRI, 2010.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Marie Tobolová**

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

**6. února 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**3. června 2015**

Ve Zlíně dne 6. února 2015



L.S.

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.

děkan

Ing. Jan Valouch, Ph.D.

ředitel ústavu

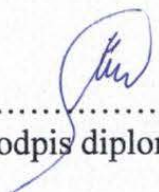
## Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

## Prohlašuji,

- že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

  
.....  
podpis diplomanta

## **ABSTRAKT**

V této práci se dočtete o metodách detekce emočního napětí, které jsou v kriminalistice využívány pro navrhování a realizaci detektorů lži. Po krátkém úvodu z historie detekování emočního napětí se můžete dozvědět o polygrafu. Je zde popsán zejména jeho princip funkce, vyhodnocování záznamu a shrnutí výhod a nevýhod. Dále můžete vidět popis moderních metod elektroencefalografie a funkční magnetické rezonance, které mají v detekci emočního napětí potenciální budoucnost. V praktické části je proveden experiment, který využívá elektroencefalograf pro zkoumání jeho možností využití na tomto poli vědy.

Klíčová slova:

Detekce emočního napětí, polygraf, elektroencefalografie, funkční magnetická rezonance, detektor lži.

## **ABSTRACT**

In this work you can read about methods of emotional stress detection which are used in criminalistics for construction of lie detectors. After a short historical introduction you can get to know about polygraph. Its principle is described here as well as techniques of interpreting its recordings. Also, pros and cons of polygraph are mentioned. Further, you can find out about modern methods: The electroencephalography and functional magnetic resonance imaging. These methods seem to have a great potential for emotional stress detection. To push this issue a bit there is an experiment using electroencephalograph to explore this possibility.

Keywords:

Emotional stress detection, polygraph, electroencephalography, functional magnetic resonance imaging, lie detector.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucí bakalářské práce Ing. Marii Tobolové za příkladnou pomoc při zpracování této práce. Děkuji svému zaměstnavateli firmě VÚK spol. s r.o. jmenovitě Ing. Františkovi Mrlíkovi a Ing. Františkovi Kubíčkovvi za shovívavost a vstřícnost během mého studia, zejména ve zkouškových obdobích a při zpracovávání této bakalářské práce. Mé speciální poděkování patří Fakultní nemocnici Olomouc jmenovitě Ing. Miroslavovi Rosulkovi za poskytnutí elektroencefalografu, odborné pomoci a prostoru potřebného pro realizaci praktické části této bakalářské práce. Děkuji všem dobrovolníkům zúčastněných v provedeném experimentu.

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>10</b>
<b>1 KLASICKÉ METODY DETEKCE EMOČNÍHO NAPĚTÍ.....</b>	<b>11</b>
1.1 DETEKCE EMOČNÍHO NAPĚTÍ.....	11
1.2 HISTORIE DETEKCE LŽI.....	11
1.3 POLYGRAF.....	12
1.3.1 Princip polygrafu.....	12
1.3.2 Procedura detekce lži.....	12
1.3.3 Lhaní a emoce.....	14
1.3.4 Emoce a tělesná reakce.....	14
1.3.5 Souvislosti mezi jednotlivými měřeními aspekty.....	15
1.3.6 Interpretace a spolehlivost.....	15
1.3.7 Mýtus neomylnosti.....	16
1.3.8 Vyměření subjektu vyšetřovatelem.....	16
1.3.9 Vyhodnocování.....	17
1.3.10 Přesnost polygrafu.....	17
<b>2 EEG.....</b>	<b>19</b>
2.1 PRINCIP.....	19
2.2 UŽITÍ V LÉKAŘSTVÍ.....	20
2.3 POSTUP.....	21
2.4 ROZMÍSTĚNÍ ELEKTROD.....	22
2.5 MOZKOVÉ VLNY.....	24
2.6 UŽITÍ V KRIMINALISTICE.....	25
<b>3 FMRI.....</b>	<b>26</b>
3.1 MAGNETICKÁ REZONANCE.....	26
3.2 FUNKČNÍ MAGNETICKÁ REZONANCE.....	26
3.3 PRINCIP.....	28
3.4 POSTUP PŘI EXPERIMENTOVÁNÍ.....	28
3.5 UŽITÍ V LÉKAŘSTVÍ.....	29
3.6 UŽITÍ V KRIMINALISTICE.....	29
<b>4 POROVNÁNÍ METOD.....</b>	<b>31</b>
4.1 POLYGRAF.....	31
4.2 EEG.....	31
4.3 FMRI.....	31
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>33</b>
<b>5 EXPERIMENT.....</b>	<b>34</b>
5.1 LABORATOŘ.....	34
5.2 POUŽITÉ VYBAVENÍ.....	35
5.3 PŘÍPRAVA K MĚŘENÍ.....	36
5.4 MĚŘENÍ EMOČNÍHO NAPĚTÍ.....	38
5.4.1 Klidový stav.....	39

5.4.2	Stav počítání.....	40
5.4.3	Stav hraní .....	41
5.4.4	Otevření očí.....	42
5.5	PROVEDENÍ EXPERIMENTU .....	43
5.6	SUBJEKT #1 .....	45
5.6.1	Parametry subjektu.....	45
5.6.2	Naměřené EEG.....	45
5.6.3	Výsledek.....	46
5.7	SUBJEKT #2 .....	47
5.7.1	Parametry subjektu.....	47
5.7.2	Naměřené EEG.....	47
5.7.3	Výsledek.....	47
5.8	SUBJEKT #3 .....	48
5.8.1	Parametry subjektu.....	48
5.8.2	Naměřené EEG.....	49
5.8.3	Výsledek.....	50
5.9	VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU.....	51
<b>ZÁVĚR .....</b>		<b>52</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>		<b>53</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>		<b>55</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>		<b>56</b>



## ÚVOD

Detekce emočního napětí je pozorování a vyhodnocování fyziologických změn člověka v různých situacích. Jinými slovy také zkoumání reakcí subjektu vystavovaného různým stresovým podnětům. Detekce emočního napětí je vyvíjena například pro zvýšení bezpečnosti dopravního provozu. Dále pro posunutí robotů na další vývojový stupeň. Nebo v kriminalistice pro zvýšení účinnosti odhalování zločinu. V této oblasti je již dlouhá léta využíván polygraf, hovorově nazývaný též detektor lži. Detekce lži touto metodou však skrývá značná úskalí a proto jsou hledány metody nové. Mezi tyto experimentální metody patří například elektroencefalografie a funkční magnetická rezonance.

Cíle této práce jsou:

- Obecné porozumění detekci emočního napětí
- Popis klasické metody detekce lži polygrafem
- Popis metody elektroencefalografie a její možnosti využití v kriminalistice
- Popis metody funkční magnetické rezonance a její možnosti využití v kriminalistice
- Porovnání jednotlivých metod
- Experimentování s elektroencefalografem pro praktické zhodnocení možnosti využití metody elektroencefalografie pro detekci lži

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 KLASICKÉ METODY DETEKCE EMOČNÍHO NAPĚTÍ

## 1.1 Detekce emočního napětí

V dnešní době jsou vyvíjeny detektory emočního napětí například pro řidiče, aby byla zvýšena bezpečnost dopravy. Studie americké automobilové asociace pro bezpečnost dopravy (AAA FTS) odhaduje, že přibližně 25% dopravních nehod hlášených policii je ovlivněno nějakou formou řidičovy nepozornosti. Řidič je buď rozptýlený, ospalý, unavený nebo zamyšlený. V tomto případě může být snímán obličej řidiče speciální kamerou a sofistikovaným softwarem neustále vyhodnocován jeho stav. V případě zvýšené únavy může být řidič systémem upozorněn, aby si udělal přestávku. Přední výrobci automobilů jako jsou Toyota, Nissan, Volvo, Mercedes-Benz a Saab již instalují do vyšších řad svých automobilů monitorovací systémy, které sbírají data potřebná k vývoji této technologie. [1]

Další uplatnění detektorů emočního napětí můžeme najít v robotice. Představte si například robota záchranáře, který dokáže u lidí rozlišovat míru zděšení, strachu a úzkosti. Například při požáru by mohl rozhodnout, který jedinec potřebuje nejrychlejší pomoc a zvýšil by tak účinnost záchranných akcí. V armádě by robot mohl být využit v bojích. Mohl by přispěchat na pomoc ke zraněnému vojákovvi, který si ve strachu ze smrti nedokáže zajistit patřičnou pomoc sám. Jiný robot by mohl nahradit pečovatele o děti nebo seniory. Při interakci s nimi by mohl vnímat jejich emoční stav a relevantně se jim přizpůsobovat. [2]

Nás však zajímá uplatnění detektorů emočního napětí v kriminalistice. V kriminalistice jsou detektory emočního napětí využívány pro detekování lži při výslechu, tím pádem jsou také nazývány „detektory lži“.

## 1.2 Historie detekce lži

Historie detekce lži sahá až do dob kmenové společnosti. Tehdejší šamani odhalovali viníky pomocí čichu. Využívali předpokladu, že člověk, který cítí provinění, se potí více než nevinný a to ho prozradilo. [3]

V dřívějších společnostech detekce lži běžně zahrnovala zejména mučení. Například ve středověku byli podezřelí vystavováni vroucí vodě. Věřilo se, že čestní muži odolají lépe než lháři. [3]

Indiáni pro detekci lži používali poznatek, že strach zabraňuje tvorbě slin. Podezřelému dali ke žvýkání rýži. Pokud ji dotyčný dokázal bez problému vyplivnout, byl považován za čestného, ale pokud se mu rýže zadržovala, byl vinen. [4]

### 1.3 Polygraf

V době technologií však chceme sofistikovanější nástroj pro určení viny. Nástroj, který by přinesl exaktní důkaz viny či nevinu. Chceme techniku, která pomůže obzvláště v kriminálním vyšetřování a u soudů. Řešení, které odstraní chybu způsobenou lidským faktorem. A tudíž začátkem 19. stol. je vyvíjen polygraf. [4]

#### 1.3.1 Princip polygrafu

Teorie detekce lži spočívá v tom, že lhaní způsobuje vědomý konflikt, který vyvolává pocit strachu nebo úzkosti. Tyto pocity mají za důsledek jasně měřitelné fyziologické změny. [4]

Polygraf často nazývaný jako detektor lži je zařízení, které provádí měření a zápis několika fyziologických aspektů subjektu podrobovanému sérii otázek. Těmito fyziologickými aspekty jsou krevní tlak, srdeční tep, dýchání a elektrický odpor pokožky. Obsluha polygrafu na základě těchto fyziologických změn vyhodnocuje, zdali subjekt hovoří pravdu či lže. [5]

#### 1.3.2 Procedura detekce lži

V ideálním případě je zkouška na polygrafu prováděna zkušeným vyšetřovatelem v prostředí, kde jsou na minimum sníženy okolní vlivy jako svědkové, reportéři, stenografové a hluk. Ideální výslechová místnost vypadá jako ta u kardiologa nebo psychologa. Po úvodním rozhovoru je subjekt posazen na židli speciálně upravenou k připojení různých měřících zařízení: hadička pneumografu je připevněna ke hrudi subjektu, manžeta tlakoměru je omotána okolo vrchní části paže a sada elektrod je připevněna k rukám. Subjekt se dívá přímo před sebe. Vyšetřovatel sedí naproti němu za stolem, který je vybaven výstupy měřících zařízení tak, aby na ně subjekt neviděl. Tato zařízení začnou pořizovat grafický záznam, jakmile začne vyšetřování. [4]

Pokládání otázky jsou vybírány dle výsledků z úvodního rozhovoru, dle obvinění a dle typu vyslychaného subjektu. Existuje modelový test, jehož autory jsou p. Inbau a p. Reid. Tito pánové se zaslouhují o kompletní vývoj detekce lži na polygrafu od interpretace za-

znamenanych křivek polygrafem, přes měření fyziologických aktivit po konečné rozsudky. Nicméně, ne vždy je tento modelový test následován. [4]

V kriminálním vyšetřování jsou používány tři základní testy. Kontrolní test, karetní test a hrotový test. Nejdůležitější je kontrolní test. Je navržen tak, aby se vypořádal s problémem, který je známý všem vědeckým experimentátorům a to, jak rozhodnout, jestli jsou odezvy vyvolávány spíše zkoušeným podnětem (otázkou vůči subjektu) nebo spíše okolními vlivy (nervozita, stres z výslechu). Jsou pokládány série obdobných otázek. Vypytáváme se na krádeže, které se nikdy nestaly. Přestože i tyto otázky mohou u subjektu vyvolávat fyziologické změny, budou pokaždé přibližně stejné. Až se však zeptáme na krádež, která je pro daný subjekt relevantní, jeho fyziologické změny budou vyšší. [4]

Podobný princip využívá karetní test, který obvykle následuje hned po kontrolním testu. Ten se používá ke zjištění, jak daný subjekt reaguje, když lže v situaci jiné, než při vyšetřování. Také ale zvyšuje u subjektu respekt ke stroji předvedením jeho síly k odhalení nepravdy. Karetní test sám o sobě je teoreticky jednoduchý a snadno proveditelný. Je potřeba, aby subjekt lhal. Čili, vyšetřovatel dá subjektu vybrat si jednu ze sedmi karet, kterou si zapamatuje. Vyšetřovatel se postupně ptá, zdali je to právě tato karta a subjekt pokaždé musí odpovědět, že není. Mezi každou následující tipovanou kartou je patnácti vteřinový interval. U karty, kde došlo k nejvyšší fyziologické změně subjektu, subjekt lhal. Vyšetřovatel subjektu kartu sdělí. Sdělí mu také, že je vůči přístroji citlivý, že všechno funguje jak má a pokračuje ve výslechu. [4]

Hrotový test je teoreticky stejný jako karetní test, pouze je převeden ze hry to reality. Pro jeho provedení je zapotřebí dvou podmínek. Zaprvé, vyšetřovatel musí znát nějaký předmět spojený se zločinem. A zadruhé, žádný nevinný subjekt o tomto předmětu vědět nesmí. Čili pokud se detaily o kriminálním činu dostanou na veřejnost, hrotový test může být nepoužitelný. Pokud jsou podmínky splněny, vyšetřovatel vezme do hry předmět, který je známý pouze jemu a pachateli. Stejně jako u karetního testu, vezme dotyčný předmět mezi šest podobných předmětů. Například ukradený náhrdelník a šest šperků jako hodinky, náušnice, atd., resp. cokoliv, co je běžným předmětem krádeží. Pak je subjektu pokládána otázka: „Je to tento objekt, který byl ukraden?“. Subjekt pokaždé odpoví, že neví, ale u pachatele naměříme zvýšenou fyziologickou změnu při dotazování se na ukradený předmět. Při použití vyloženě nevhodných předmětů, jako kancelářských potřeb, bychom mohli zaznamenat i u nevinného subjektu zvýšenou reakci na ukradený předmět, čili tato část testu nesmí být podceněna. [4]

### 1.3.3 Lhaní a emoce

Psychologická literatura nepopisuje zákonité vztahy mezi lhaním a emočními stavy. Není to tím, že by psychologové toto téma nepovažovali za důležité, ale spíše proto, že ho považují za nekonzistentní. Proces lhaní u každého subjektu může vyvolávat různé reakce. V naší společnosti lidé neprojdou životem, aniž by se vyhnuli nějaké míře lhaní a každý jedinec si vytváří na tento čin reakce vlastní. Lhaní může vyvolávat i uspokojení, vzrušení, humor, nudu, smutek a nenávisť stejně jako strach nebo úzkost. Poměrně běžně se můžeme dokonce setkat s jedinci, kteří věří vlastním lžím a neberou na ně zřetel. Zastánci detektorů lži nemohou mít přesný podklad, které emoce jsou vyvolávány, když různí lidé lžou. Odlišné emoce mohou být vyvolávány i se změnou času. V jednu dobu to může být strach a v jinou dobu třeba úzkost. [4]

### 1.3.4 Emoce a tělesná reakce

Tělo bezděčně reaguje na emoce mnoha způsoby. Poměrně mírné reakce zahrnují změny v elektrickém odporu pokožky (v důsledku pocení), dýchání, krevním tlaku, srdečním tepu, krevním toku, teplotě pokožky, svalovému pnutí, velikosti zornic, žaludeční činnosti a v krevní nasycenosti kyslíkem. Navíc, při diskusi o citlivém tématu u některých jedinců může dojít k nepříjemnějším reakcím jako je bolest hlavy, bolest zad, Raynaudova nemoc (blednutí a bolest periferních částí těla, zejména prstů na ruce), krvácení, produkování žluči a nadměrné překyselení žaludku. [4]

Můžeme popsat tři aspekty bezděčné tělesné reakce. Pnutí, labilitu a nespecifickou aktivitu. Pnutí je množství fyziologické aktivity vyskytující se v daném čase. Labilita je změna v úrovni pnutí způsobená změnou vnímání nebo změnou vědomých pocitů. Nespecifikovaná aktivita nebo také spontánní aktivita souvisí se samovolnými a nevědomými změnami. Tělesné změny tohoto typu mohou nastat i u jedince, který v klidu odpočívá i u jedince, který je velmi rozrušený. Jelikož je spontánní aktivita vždy přítomná, komplikuje měření lability. [4]

Detekce lži je založena na měření lability. Odhaluje subjekt výrazné zvýšení krevního tlaku, zrychlování tepu, mělké dýchání a zvýšení odporu pokožky při vystavení například ukradenému předmětu spíše, než při vystavení nepodstatnému předmětu? Měření lability je komplikované. Množství změny – vypočítané jako procento nebo obyčejný algebraický rozdíl – je nepřímo úměrný k úrovni pnutí v době, kdy je subjekt vystaven podnětu. Subjekt s vysokou úrovní pnutí ukáže menší změny než subjekt s nízkou úrovní pnutí. Navíc, u

subjektu, který má vlastní úroveň pnutí rapidně proměnlivou, můžeme zaznamenat změny způsobené spíše změnou vlastního pnutí než účinkem podnětu. [4]

Spontánní aktivita se u subjektu zvyšuje ve vztahu s úrovní bdělosti od hlubokého spánku až k panickému stavu. Kdežto reakce na podnět se zvyšují jen do úrovně střední bdělosti a při další zvyšující se bdělosti zase upadají. Jelikož testy na detektoru lži probíhají z pravidla při vysoké úrovni bdělosti subjektu, je jejich interpretace na spontánní aktivitu náchylná. [4]

### 1.3.5 Souvislosti mezi jednotlivými měřeními aspekty

Kdyby všechny samovolné reakce příslušně stoupaly a klesaly s emočními stavy, nebylo by třeba polygrafu, ale stačil by unigraf. Ten by popisoval všechny ostatní reakce, jako když podle teploty v komoře můžeme dopočítat i tlak v ní. [4]

Vztah mezi jednotlivými měřeními aspekty není přesný. Měřením více aspektů a průměrováním by byla zajistila nějaká přesnost. Toto tvrzení by však platilo, pouze kdyby mezi měřeními aspekty byla vysoká úroveň interkorelace. Spolehlivě by se dal určit závěr, kdyby jednotlivá měření mezi sebou téměř perfektně odpovídala. Dal by se vytvořit vzor, podle kterého by se měření vzájemně kontrolovaly. Ve skutečnosti však psychofyziologové nenašli ani ucházející vztahy. Klíčový problém v psychofyziologii se týká překvapivě malé interkorelace mezi měřeními. Při práci se škodlivými podněty a jednoduchými druhy samovolných reakcí jsou neustále nalézány matice interkorelací, kde se většina korelací blíží nule. [4]

Jelikož měření některé ze samovolných reakcí nemusí odpovídat žádné z ostatních, spolehlivost detektorů lži se zdá být neopodstatněná. Záleží na zkušenostech vyšetřovatele, aby určil, kterého ukazatele se více držet. U jednoho subjektu zrychlený tep může nejspíše poukazovat na jeho emoční stav. U druhého, jehož tep a emoční stav vzájemně nesouvisí, může zvýšený krevní tlak poukazovat na úzkost. U třetího může být krevní tlak a srdeční tep zavádějící, ale minimální, ale měřitelný odpor pokožky může přesně určovat jeho vnitřní pnutí. [4]

### 1.3.6 Interpretace a spolehlivost

Příznivci detektorů lži netvrdí, že detektor lži je stroj, který zazvoní, když subjekt lže. Netvrdí také, že jeden vyšetřovatel ze stejných záznamů přijde ke stejnému závěru jako druhý. Fakta podaná psychofyziology o náročnosti interpretování tělesných reakcí dokládají,

že záznamy samotné nikdy nestačí. Rozsudek každého vyšetřovatele založený na jeho vlastních záznamech má nejvyšší hodnotu. [4]

Očividně není možné zjišťovat neomylnost detektorů lži empiricky, protože nevíme, který subjekt skutečně lže. V rozumných mezích však můžeme spolehlivost částečně testovat použitím více vyšetřovatelů na stejný subjekt. Patrně by měli dojít ke stejnému závěru. Přestože jejich společný výsledek nemusí být správný, bude poukazovat na jednotnost v interpretaci. Když by se výsledky jednotlivých vyšetřovatelů lišily, jejich věrohodnost by byla jednoznačně odepsaná. [4]

### 1.3.7 Mýtus neomylnosti

Tento mýtus je nezbytný pro aplikování metod detekce lži. V typickém vyšetřování je subjekt pozván do soukromé čekárny, aby počkal pár minut na vyšetřovatele. Ve skutečnosti již test začal, protože již přijímací úředník hraje důležitou roli. Nabídne subjektu speciálně připravené čtení, které popisuje detektor lži jako neomylný nástroj. Prvotní předpoklad viny nebo nevinu je založen na zprávě přijímacího úředníka o reakci subjektu na tuto literaturu. Pokud se subjekt jeví nepřátelsky, otráveně nebo nesympaticky, indikuje to vinu. Pokud se na přístroj tváří nadšeně, je na první pohled nevinný. [4]

Druhý účel tohoto mýtu je zvýšení tělesných reakcí subjektu. S vědomím, že detektor lži nelže, je subjekt přinucen k němu přistupovat vážně. Subjekt si své lhaní musí uvědomovat. Když rodiče svým dětem lžou o Ježíškovi, těžko při tom cítí nějaké provinění nebo snad úzkost. Proto je žádoucí, aby vyšetřovaný subjekt k detektoru lži cítil respekt. Pokud subjekt nebude mít v detektor lži důvěru, sníží se jeho fyziologické reakce a příslušně se sníží i spolehlivost celého výsledku. [4]

### 1.3.8 Vyměření subjektu vyšetřovatelem

Po průvodním zpracování přijímacím úředníkem je již veškeré posouzení na vyšetřovateli. Nejenže musí být vyšetřovatel ujištěn, že subjekt detektoru lži věří, ale musí také rozhodnout, zda je subjekt fyziologicky v pořádku. Pokud by subjekt trpěl například kardiovaskulárním onemocněním (onemocnění srdce a cév), některé záznamy by mohly být scestné. Vyšetřovatel také musí vyhodnotit emoční tendence subjektu. Nervózní jedinci se mohou cítit provinile bez objektivního důvodu. Naopak psychopati nemusí pociťovat vinu, i když vinni skutečně jsou. K tomu ještě musí vyšetřovatel rozpoznat, zda subjekt, který je běžně v pořádku, momentálně je či není v extrémně zvýšeném stresu. [4]



Dále musí vyšetřovatel rozhodnout, zda si subjekt uvědomuje svůj zločin a získat kontrolu nad jeho emocemi. Například zaměstnanec, který se cítí být vykořisťován zaměstnavatelem, se nemusí cítit až tak provinile za to, že mu něco odcizí. Nebo vycvičený subjekt se může silně soustředit na myšlenky nespojené s daným zločinem a sníží svou tak tělesnou odezvu. Vyšetřovatel musí tato úskalí vypořádat a vzít v potaz. [4]

Vyšetřovatel také musí být citlivý k chování subjektu v testové situaci. Tato informace slouží ke dvěma účelům. Zaprvé pomáhá vyšetřovateli s interpretací záznamu. Víra nebo skepticismus v test mohou předběžně naznačovat vinu či nevinu. Zadruhé umožňuje vyšetřovateli určovat taktiku testování. Podle reakcí subjektu může vyšetřovatel volit jiné otázky v různých částech testu. Toto je zásadní aspekt detekování lži, protože chybný úsudek v jakékoli části testu může snížit přesnost výsledku. Volba navazujících otázek zjevně souvisí s reakcemi na otázky předchozí. [4]

### 1.3.9 Vyhodnocování

K provedení úspěšného výslechu je za potřebí vysoká odbornost u více dovedností vyšetřovatele. Kromě bystrého vnímání osobnosti je zapotřebí ovládat několik zdravotnických specializací a k tomu ještě klinickou a sociální psychologii. Vyšetřovatelé jsou častěji bývalí policisté než například kardiologové nebo psychiatři. Je to dáno vysokým nárokem na komplexnost úsudku vyšetřovatele. Práce psychiatra zahrnuje jen obecnou diagnózu pacienta. Kdežto vyšetřovatel používající detektor lži má za úkol rozpoznat, jestli subjekt lže nebo nelže o konkrétní věci, nikoliv zda má obecně tendenci lhát. Za těchto okolností nelze vycvičit vyšetřovatele během několika měsíců. Je třeba specialistů s dlouholetou praxí. [4]

### 1.3.10 Přesnost polygrafu

Přesnost detektoru lži se nedá obecně snadno určit, protože nemůžeme očekávat stejnou platnost výsledků kdykoliv a kdekoliv. Přesnost se výrazně liší podle účelu, ke kterému je detektor lži používán. Například k vyslídění bezpečnostních hrozeb, k prověřování zaměstnanců, k určování otcovství nebo k ochraně pojišťoven a ručitelů. Množství lhářů mezi svobodnými matkami může být mnohem vyšší než mezi vědci pracujícími v komisi pro atomovou energii a podle toho se může měnit přesnost polygrafu. Tato podmíněná pravděpodobnost však hraje roli u všech zařízení, ať už mechanických či nikoliv. Stejně jako se bude měnit přesnost detektoru lži při použití ve skupině vyložených lhářů nebo vyloženě čestných jedinců, bude se měnit přesnost diagnózy konkrétního onemocnění mezi jinak vyloženě zdravými jedinci a jedinci trpícími větším spektrem onemocnění. Dokud diagnos-

tické zařízení není perfektní, jeho přesnost v jednotlivém použití je z velké části ovlivněna skupinou populace, na které je prováděno testování. [4]

Výsledky vyšetřování na polygrafu nejsou u soudů ve většině zemí plnohodnotným důkazním materiálem. Je to dáno vysokou obavou z nespolehlivosti výsledků. Jako doplňující prostředek při vyšetřování však polygraf zastává významnou roli. I kdyby další vývoj polygrafu nevedl k dosažení požadované spolehlivosti, můžeme doufat v lepší pokrok u výzkumu detektorů lži využívajících modernějších metod kognitivní neurovědy, jako je elektroencefalografie nebo funkční magnetická rezonance. [6]

## 2 EEG

Elektroencefalografie je metoda, kdy je zaznamenávána a interpretována elektrická činnost na pokožce hlavy člověka. Elektroencefalograf (přístroj) měří kolísání napětí vyvolané pohybem elektronů mezi neurony v lidském mozku. [7]

Nejčastěji se EEG používá v lékařství k diagnostikování epilepsie, která způsobuje zjevné abnormality v EEG záznamu neboli v elektroencefalogramu. EEG také diagnostikuje například spánkové poruchy, kóma, mozkovou nemoc a mozkovou smrt. Dále je EEG první vlna diagnózy nádorů a poruch krevní cirkulace v mozku. Další vlnou diagnózy je použití metod jako MRI (magnetická rezonance) a CT (počítačová tomografie), které díky vyššímu rozlišení přesněji určí problém. [8]



Obrázek 1 – ilustrační obrázek EEG. Základní systém je tvořen elektrodami, zesilovačem, počítačem s monitorem a stroboskopem. [18]

### 2.1 Princip

Mozkový elektrický náboj je uchováván v milionech neuronů. Neurony jsou elektricky nabitý proteiny, které do neuronů pumpují ionty skrze membrány. Neurony neustále vyměňují ionty s mimobuněčným prostředím. Ionty souhlasného náboje se od sebe odpuzují, a když je více iontů od neuronů odpuzeno zároveň, tyto ionty narazí do jejich sousedních iontů a ty zase do dalších a tím vytvoří vlnu. Když tato vlna dosáhne elektrody umístěné na pokožce hlavy, ionty mohou snadno potlačit nebo vytáhnout elektrony na kovo-

vých elektrodách. Rozdíl napětí mezi libovolnými dvěma elektrodami lze měřit voltmetrem. Zaznamenáváním průběhů těchto napětí dostáváme elektroencefalogram. [9]

Elektrický potenciál vytvořený jediným neuronem je příliš malý na to, aby byl zachytitelný pomocí EEG. EEG zachycuje pouze sumu společných aktivit neuronů, které mají podobnou orientaci. Pokud buňky nemají podobnou prostorovou orientaci, jejich ionty nevytvoří vlnu, kterou je možno detekovat. Jelikož napěťové pole slábne s druhou mocninou vzdálenosti, mozková aktivita z hlubokých zdrojů je mnohem náročnější na detekování než aktivita blízko k lebce. [9]

EEG aktivita pokožky hlavy ukazuje oscilace v různých frekvencích. Některé tyto oscilace mají charakteristická frekvenční pásma a prostorová uspořádání a jsou spjaty s různými stavy mozkové aktivity (např. probouzení a různé stupně spánku). [9]

## 2.2 Užití v lékařství

Rutinní EEG vyšetření trvá tradičně 20-30 minut plus příprava. Typicky se používá za následujících okolností:

- Rozlišení epileptického záchvatu od jiných potíží např. od psychogenického neepileptického záchvatu, mdlob a migrén.
- Slouží jako doplňkový test mozkové smrti.
- K prognóze pacientů v kómatu.
- K rozhodnutí vysazení anti-epileptických léků.
- K lokalizování oblasti mozku, která způsobuje záchvat pro zaměření případného chirurgického zákroku.
- K monitorování hloubky anestézie.
- K monitorování mozkové činnosti na jednotkách intenzivní péče.
- Ke sledování nekřečovitých záchvatů.
- Ke sledování účinků sedativ u pacientů v kómatu.
- Ke zjištění druhotných mozkových poškození při úrazech hlavy. [7]

Pokud je pacient s epilepsií vyhodnocen k podstoupení chirurgického zákroku, je nutno nejprve určit zdroj epileptické aktivity. V některých případech není možno toto místo přesně určit pomocí EEG z pokožky hlavy. Je to způsobeno mozkomíšni tekutinou, lebkou a kůží. Signál je při průchodu tímto prostředím rozmazáván. V těchto případech neurochirurgové používají penetrační hloubkové elektrody. Použití těchto elektrod obnáší odstraně-

ní části lebky nebo vrtání děr do lebky. Takové metody získávání EEG záznamu se nazývají elektrokortikografie (ECoG), subdurální EEG (sdEEG) nebo intrakraniální EEG (icEEG). Všechny tyto názvy označují stejnou metodu. EEG záznam získaný hloubkovou metodou je mnohem kvalitnější než záznam získaný z pokožky hlavy. Je možné odečítat ze záznamu nižší napětí a vyšší frekvence průběhu. V některých klinických zařízeních se používají mikroelektrody k proniknutí lebku bez jejího poškození. [7]

EEG se běžně nepoužívá pro diagnostikování bolestí hlavy. Při chronických bolestech je možno EEG použít, ale nemá relevantní výhody oproti běžnému vyšetření. [7]

### 2.3 Postup

Při běžném EEG z pokožky hlavy je záznam získáván umístěním elektrod na pokožku hlavy s využitím elektricky vodivého gelu nebo pasty. Pro snížení impedance jsou před nanesením vodivého gelu odstraňovány odumřelé buňky lehkým odíráním pokožky. Některé systémy užívají jednotlivé elektrody, které jsou jednotlivě připojené samostatným kabelem. Některé systémy používají „čepici“ obsahující systém elektrod. Tyto systémy se používají většinou tam, kde je potřeba větší hustota elektrod na jednotku plochy. [10]

Rozmístění a pojmenování elektrod je specifikováno mezinárodním „10-20 systémem“. Společné používání jednoho systému zaručuje možnost komunikace mezi laboratořemi. Ve většině lékařských zařízení se používá systém 20 elektrod + jedné referenční elektrody. V případě potřeby vyšší přesnosti měření se používají systémy zaměstnávající cca 256 elektrod. [11]

Každý elektroda je připojena ke vstupu diferenciálního zesilovače (jeden zesilovač pro jeden pár elektrod). Tyto zesilovače zesilují napětí mezi aktivní elektrodou a referenční elektrodou (typicky tisíckrát až stotisíckrát neboli o 60-100 dB zisku napětí). U analogového EEG je dále signál filtrován a výstup EEG signálů vychyluje pero. Pod perem běží papír, na který je neustále zaznamenávána odchylka. V dnešní době se však používají převážně EEG digitální. Zesílený signál je po vyfiltrování digitalizován prostřednictvím AD převodníku. Vzorování běžných EEG používaných v lékařství běží na frekvenci 256-512 Hz. U EEG používaných pro výzkum až 20 kHz. [10]

V průběhu zaznamenávání lze použít řadu aktivačních procedur. Tyto procedury můžou vyvolat normální nebo abnormální EEG aktivity, které by jinak nebylo možné vidět. Tyto procedury zahrnují hypoventilaci, světelnou stimulaci (reakce na baterku), zavírání očí,

spánek a spánkový deficit. Při monitorování epilepsie lze pacientovi odebrat léky proti epileptickému záchvatu. [10]

Při použití digitálního EEG, kde je signál ukládán elektronicky, lze použít řadu filtrů. Typické nastavení filtru pro horní propust a dolní propust je 0,5 – 1 Hz a 35-70 Hz (v tomto pořadí). Horní propust typicky filtruje pryč „pomalé“ šумы, jako jsou elektro-galvanické šумы a přenosové šумы. Dolní propust filtruje pryč vysoké frekvence jako elektromyografické signály. Dále se používá filtr pásmová zadrž, který standardně eliminuje šумы z elektrické sítě (50 resp. 60 Hz dle země - EU vs US atd.). [7]

Typický EEG signál dospělého člověka dosahuje amplitudy 10-100  $\mu\text{V}$  při umístění elektrod na pokožku hlavy. 10-20 mV při subdurálním umístění elektrod. [7]

Jelikož je EEG signál vyjadřován jako rozdíl napětí mezi dvěma elektrodami, můžeme jej vyobrazovat v různých režimech. Nejpoužívanější režimy jsou:

- Sekvenční: každý kanál znázorňuje rozdíl mezi dvěma přilehlými elektrodami. Celý souhrn se pak skládá z řad těchto kanálů.
- Referenční: každý kanál znázorňuje rozdíl mezi danou elektrodou a zvolenou referenční elektrodou.
- Průměrovaný referenční: výstupní signály jsou sečteny a zprůměrovány a tato hodnota je potom brána jako referenční hodnota pro metodu referenční (bod výše).
- Laplaceův: každý kanál znázorňuje rozdíl mezi elektrodou a vyváženým průměrem okolních elektrod. [7]

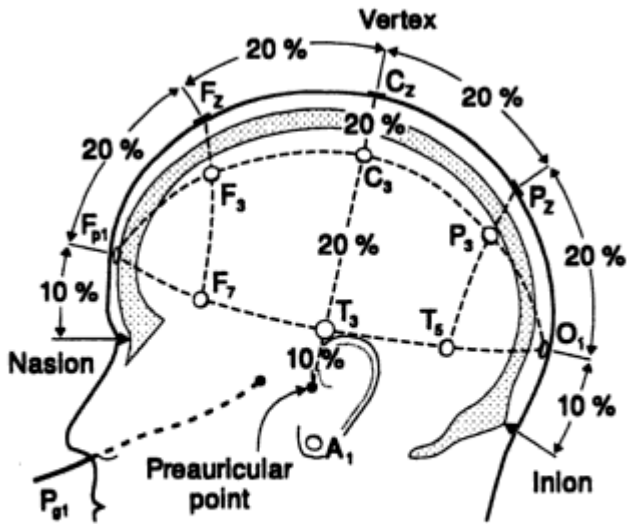
Při použití analogového (papírového) EEG, obsluha přepíná mezi módy ručně, aby zdůraznila nebo lépe charakterizovala průběh záznamu. U digitálního EEG jsou standardně všechny signály uloženy v nějakém módu, většinou v referenčním a z tohoto záznamu lze pak matematicky odvodit jakýkoliv jiný mód, který si přejeme zobrazit. [7]

EEG záznam je vyhodnocován neurofyziologem nebo neurologem. Vyhodnocování je prováděno vizuálním pozorováním křivek zmíněnými specialisty. Počítačové vyhodnocování těchto křivek je vyvíjeno, ale pro lékařské použití se zatím neupřednostňuje. [7]

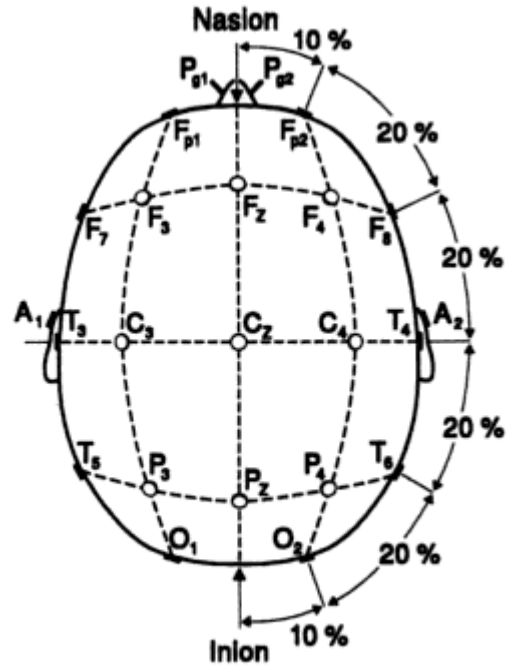
## 2.4 Rozmístění elektrod

Ve standardním mezinárodním 10-20 systému jsou elektrody rozmístěny dle obr. 2a a 2b. Jeden referenční bod se nachází na vrcholu nosní kosti v úrovni očí „nasion“. Druhý referenční bod se nachází na zadní spodní části hlavy „inion“. Od těchto bodů jsou vyměřeny

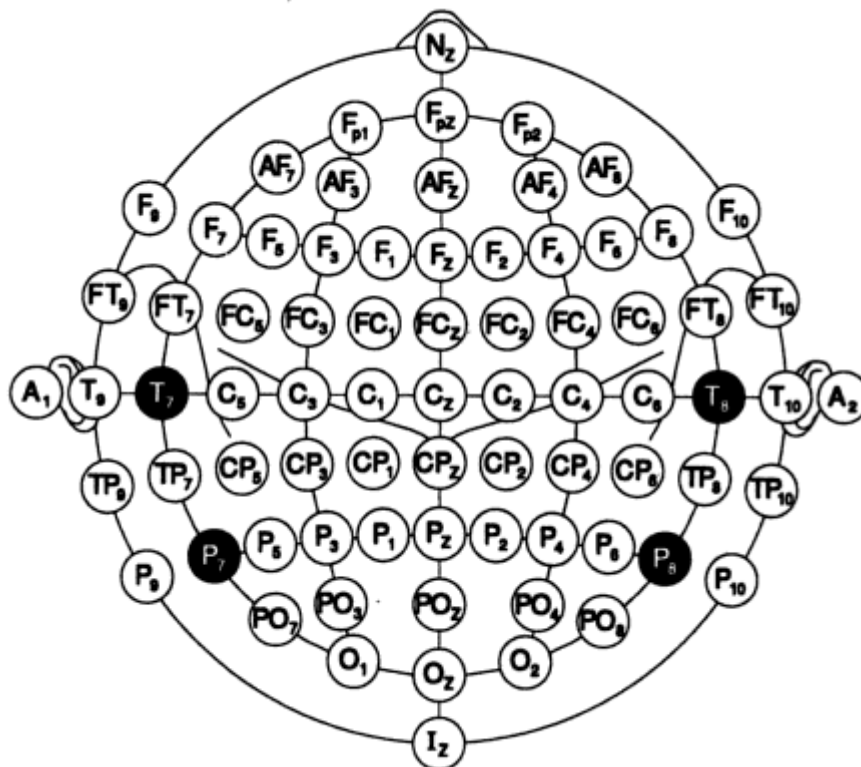
oblasti lebky. Elektrody jsou umístěny po 10% resp. po 20% celkové vzdálenosti. Na obr. 2c je znázorněno umístění a označení elektrod v rozšířené variantě rozmístění po 10% celkové vzdálenosti, standardizované americkou elektroencefalografickou společností. [11]



Obrázek 2a – zobrazení rozmístění elektrod [11]



Obrázek 2b - zobrazení rozmístění elektrod [11]



Obrázek 2c – zobrazení rozmístění elektrod rozšířené [11]

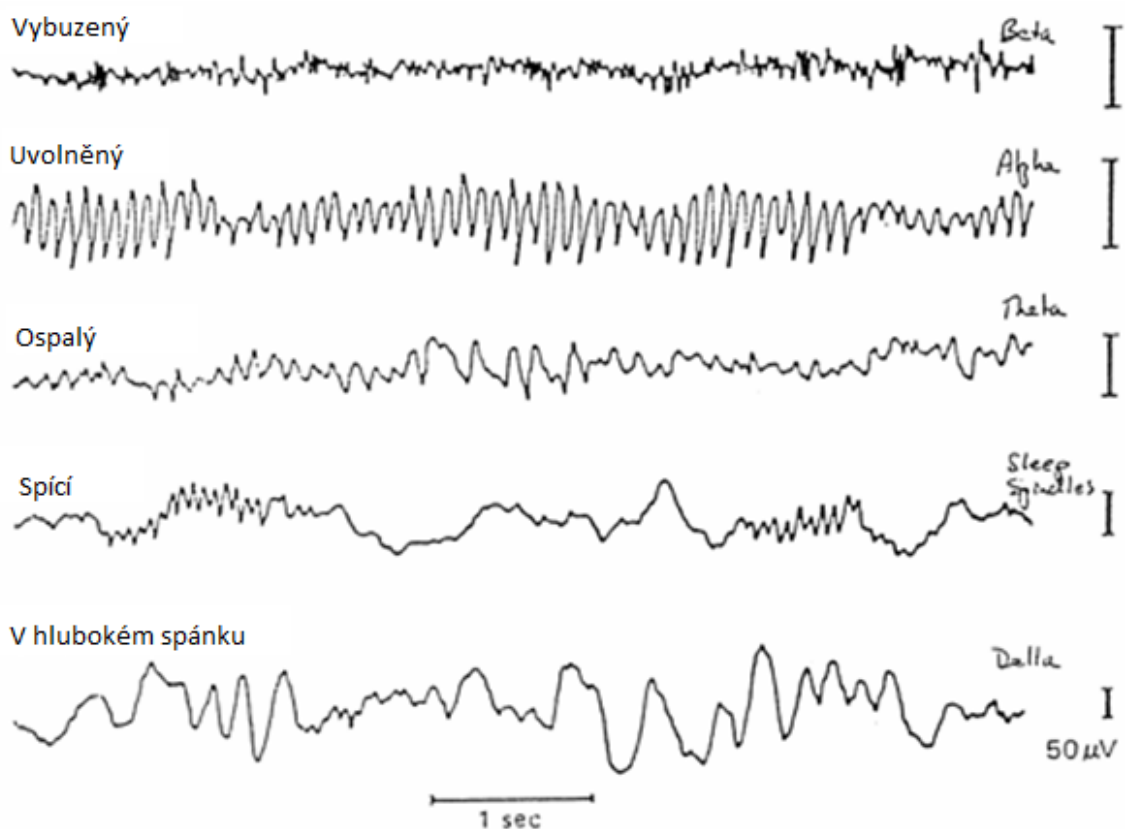
N-nasion, F-frontální, A-ušní případně vložena, C-centrální, T-spánková, P-temenní, O-týlová, I-inion.

Číslování od středu vzestupně, lichá čísla - levá hemisféra, sudá čísla - pravá hemisféra, z-střed. [11]

## 2.5 Mozkové vlny

Základní mozkové vlny jsou rozděleny dle frekvence. Příslušné hodnoty amplitudy je třeba brát relativně, protože záleží na místě měření a vzdálenosti elektrod. Nejpomalejší mozkové vlny s frekvencí do 4 Hz se nazývají Delta a vyznačují se nejvyšší amplitudou až 100-200  $\mu\text{V}$ . Frekvenční rozmezí od 4 do 8 Hz zaujímají vlny Theta s amplitudou 5-10 $\mu\text{V}$ . Od 8 do 12 Hz vlny Alpha s amplitudou 20-80 $\mu\text{V}$ . Od 12 do 20 Hz vlny Beta s amplitudou 1-5 $\mu\text{V}$ . A nejrychlejší vlny s frekvencí nad 20 Hz Gamma s amplitudou 0,5-2 $\mu\text{V}$ . [13]

Na obrázku 3 jsou vyobrazeny typické záznamy EEG dle stavu bdělosti člověka.



Obrázek 3 – mozkové vlny [11]



## 2.6 Užití v kriminalistice

V budoucnu má EEG sloužit v kriminalistice pro poskytování doprovodného materiálu k usvědčení pachatele. Jednalo by se o tzv. detektor lži a nahradil by nebo doplnil by stávající polygraf. Myšlenka této experimentální metody spočívá v pořizování EEG záznamu při výslechu podezřelého, obdobně jako při výslechu s použitím polygrafu. V pořizovaném záznamu by pak vyšetřovatel hledal průběhy typické pro lhaní. [6]

Když by se EEG nepodařilo použít v kriminalistice jako detektor lži, další možností jeho využití by bylo vyhodnocování obecného duševního stavu podezřelého, což by mohlo při vyšetřování také pomoci. [12]

U psychopatických jedinců a trestanců byly objeveny EEG abnormality, které jsou studovány. V některých výzkumech byly EEG abnormality zjištěny zhruba u 50% testovaných delikventů. Většina těchto abnormalit se nachází v levé hemisféře mozku. Tento náález poukazuje na zvýšenou možnost násilného chování při poškození této části. Různé studie se sice shodují v tom, že u delikventů je možné nalézt větší množství EEG abnormalit než u slušných jedinců, ale vyvození obecného a spolehlivého předpisu pro rozlišení takových jedinců se však zatím nepodařilo. [12]

### 3 fMRI

#### 3.1 Magnetická rezonance

Magnetická rezonance (MRI) je moderní zobrazovací metoda, která je založena na využití gradientních magnetických polí k vytvoření tomografického obrazu. Magnetická rezonance je aktivní zobrazovací systém, který za pomoci radiofrekvenčního vysílače budí rezonanci u atomových jader vykazujících spin (rotační pohyb částice). Vybuzená jádra se pak vrací do původního stavu a přijatou energii vyzařují formou elektromagnetického vlnění o frekvenci charakteristické pro daná jádra atomů. Zobrazování MRI je nejčastěji založeno na buzení vodíkových jader. Ta jsou totiž obsažena ve vodě, která se v lidském těle vyskytuje ve velkém množství. [17]

#### 3.2 Funkční magnetická rezonance

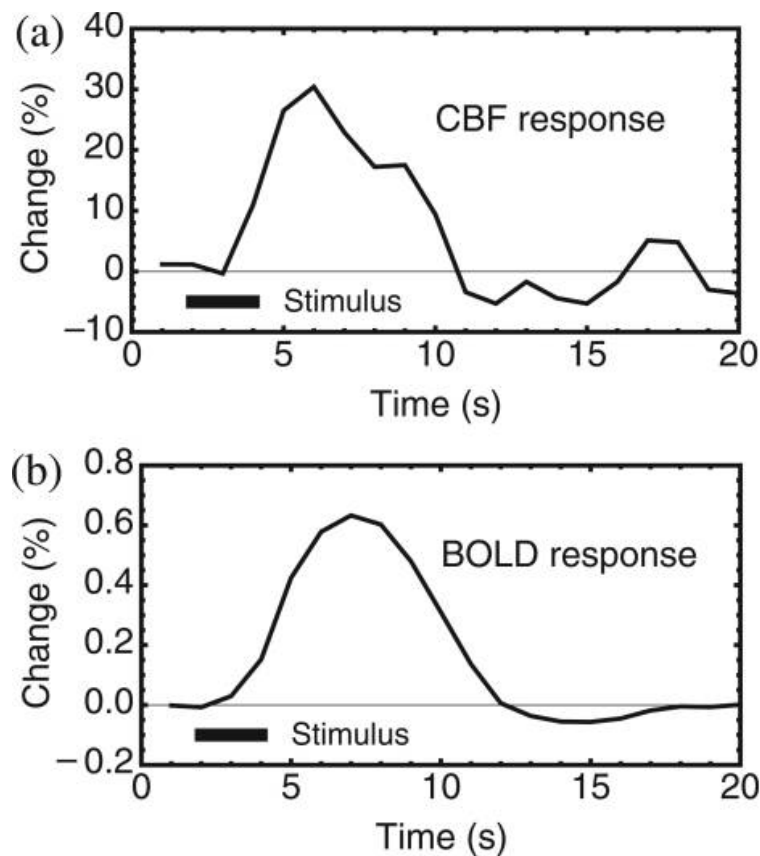
Funkční magnetická rezonance (fMRI) je metoda detekce mozkové aktivity. Schopnost detekování změn v mozku má bio-fyzický základ v magnetických vlastnostech odkysličené krve a fyziologický základ ve změnách toku krve a okysličování krve při změně mozkové aktivity. Zvýšení mozkové aktivity ústí ve zvýšení signálu magnetické rezonance. Tento jev se označuje anglickým akronymem BOLD (blood oxygen level dependent) a představuje míru okysličení krve. Aktuální technika měří mozkovou aktivitu v rozlišení  $1\text{mm}^3$  prostorově a 1s časově. Cílem metody fMRI je posunutí mapovacího nástroje na kvantitativní sondu fyziologie mozku. [14] [17]



Obrázek 4 – ilustrační obrázek skeneru fMRI. [19]

Funkční magnetická rezonance se nejčastěji používá v lékařství pro pokročilou diagnostiku mozku. Ve vědě pro pochopení fungování lidského mozku resp. pro určení, které mozkové oblasti odpovídají kterým činnostem. V kriminalistice je fMRI používána pro vývoj detekce lži. [14]

Na obr. 5 je vyobrazen průběh signálu magnetické rezonance v motorické části mozku subjektu při stisknutí prstů. I tak krátký podnět vyvolá silnou změnu v toku krve (CBF) a slabou změnu v BOLD signálu. Na rozdíl od Rentgenové metody snímání mozku a nukleární medicíny je fMRI metoda naprosto neinvazivní a nevyžaduje použití radioaktivních izotopů. [14]



Obrázek 5 (a) – CBF – Mozkový krevní tok

(b) – BOLD – úroveň okysličení krve

Stimulus – podnět (stisknutí prstů subjektem)

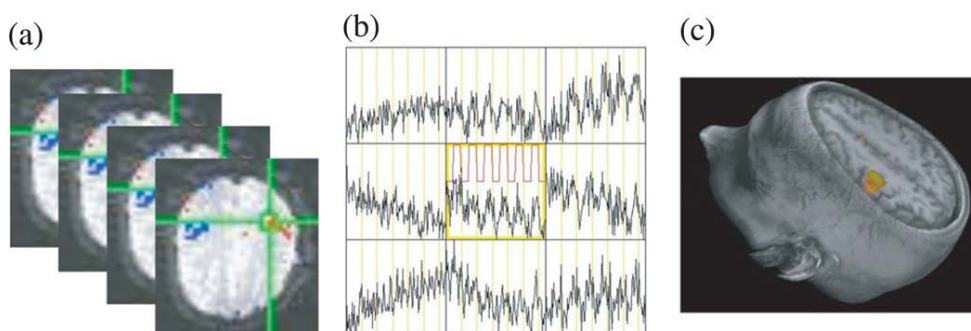
Change – změna v procentech [14]

### 3.3 Princip

Kyslík je v těle přenášen prostřednictvím vazby na bílkovinu hemoglobin, tím vzniká oxyhemoglobin. Hemoglobin, který kyslík odevzdal je označován jako deoxyhemoglobin a vyskytuje se zejména v odkysličené krvi. Míra okysličení krve je dána změnou poměru hemoglobinu a deoxyhemoglobinu. Význam BOLD signálu vychází z následujících fyziologických souvislostí. fMRI je neurovizuální metoda, která usiluje o zobrazení nervové aktivity jednotlivých oblastí mozku. Při aktivaci neuronů se jejich aktivita v dané části mozku projeví zrychleným metabolismem. V důsledku zrychleného metabolismu je sníženo množství oxygenované, čili okysličené, krve a zvýšeno množství deoxygenované, tedy odkysličené, krve. Tato nerovnováha je zaznamenána receptory v cévách a za pomoci regulačních mechanismů zvýší přívod oxygenované krve do dané oblasti. Čili míra okysličení krve přímo souvisí s mozkovou nervovou aktivitou. Zatímco prvotní pokles oxyhemoglobinu je velmi malý a na běžných tomografech prakticky nezachytitelný, při druhotné reakci hemodynamického systému vznikne v aktivované části významný přebytek okysličené krve a tato změna je již na běžných tomografech zachytitelná. [17]

### 3.4 Postup při experimentování

Klasický fMRI experiment má jednoduchý postup. Typicky střídání 20 sekund provádění úkolu a základního stavu. Ze začátku experimentování s touto metodou se například často opakoval test se střídáním stiskávání prstů a klidového stavu. V průběhu experimentu jsou vytvářeny 2D snímky představující řezy mozku jako na obr. 6. Dle požadované přesnosti můžeme získat tloušťku jednotlivých plátků od 1mm do 5mm. [14]



Obrázek 6 – základní data získaná fMRI. (a) řezy získané při provádění experimentu se stiskáváním prstů. (b) časový průběh signálu pro každý voxel (3D pixel) (c) voxely se statisticky významnou korelací s podnětem jsou vyhodnoceny a barevně vyobrazeny v anatomickém obrazu. [14]

### 3.5 Užití v lékařství

V lékařství je fMRI uplatňována k vyhodnocení rizik chirurgických zákroků na mozku nebo jiných invazivních metod léčby. Dále ke zjišťování nádorů, mozkové mrtvice, poranění hlavy a chorob (např. Alzheimerovy choroby, která se projevuje zejména ztrátou krátkodobé paměti, problémy s řečí a dezorientací). Také k pozorování zotavování a sledování reakcí na léky. [15]

### 3.6 Užití v kriminalistice

Metoda fMRI má v kriminalistice sloužit obdobně jako EEG a to zejména jako detektor lži. Některé výzkumy již při svém experimentování vytvořily rozlišovací vzory krevního toku v různých oblastech mozku subjektů, které měly za úkol lhát nebo mluvit pravdu dle daných podmínek. Experiment zahrnoval vynucené lži, čili odpovídat ano, když je správná odpověď ne. Dále spontánní lži, například odpovídat Chicago, když je správná odpověď Seattle. Také různá provedení testu viny, například karetní test, lhaní o střílení z pistole (nabité slepými náboji) před začátkem testu a lhaní o ukradených hodinkách nebo prstenu. [16]

Někteří experimentátoři se pokusili zvýšit emoční autentičnost testu peněžním fondem. V některém testu měly být subjekty za účast v testování odměněny nějakou částkou, ale v případě úspěšného oklamání experimentátorů by byla částka vyšší. V jiném testu měly část odměny vrátit, když by se jim experimentátory oklamat nepodařilo. V dalším testu experimentátoři nemanipulovali s odměnou, ale demonstrovali subjektům, že vidí jejich mozkovou aktivitu v reálném čase. Toto bylo provedeno za účelem přiblížení se podmínkám skutečného výslechu na polygrafu. [16]

Nejkonzistentnější výsledky těchto studií poukazují na větší aktivaci při lhaní v určitých částech mozku ve frontální oblasti a v přední cingulární kůře. Mozek při lhaní musí provádět alespoň dvě činnosti současně. Musí vytvořit novou informaci (lež) zatímco musí udržet původní informaci (pravdu). Dá se tedy předpokládat, že lhaní vyžaduje přídavné kognitivní zpracovávání, které je prováděno v daných oblastech mozku. Oproti polygrafu tím vzniká výhoda, že detekce lži metodou fMRI pravděpodobně není závislá na autonomních reakcích subjektu například na nervozitě. [16]

Dr. Frank Kozel provedl experiment, ve kterém se účastnilo 30 subjektů. Jednalo se o smyšlený zločin krádeže. Každý subjekt „ukradl“ buď hodinky, nebo prsten. Subjektům

bylo položeno 80 otázek a subjekty byly instruovány, aby odpovídaly pravdivě na všechny otázky, ale při dotázání na ukradený předmět měly lhát. Subjekty odpovídaly odpověďmi ano resp. ne pomocí tlačítek. Za účast v experimentu měli být dobrovolníci odměněni 50 dolary, ale při úspěšném oklamání experimentátora 100 dolary. Ve skutečnosti dostali vždy 100 dolarů. Statistická analýza identifikovala jednu oblast v přední cingulární kůře mozku a dvě oblasti ve frontální části mozku, které se více aktivovali při lhaní. Dr. Kozel prohlásil, že u 28 subjektů z daných 30 (93%), byli schopni určit, který předmět dotyčný ukradl. Test byl opakován ještě jednou a ve skupině o počtu 31 subjektů správně určili 28 (90%). Dr. Kozel metodu navrhl do reálného života tak, že subjekt by se nejprve otestoval v podobném smyšleném zločinu a v případě, že by jeho mozek reagoval spolehlivě s danými vzory lží a pravd, byl by teprve pak dotazován ke skutečnému tématu zájmu. Tento postup byl licencován společností Cephos Corporation. [16]

Christos Davatzikos provedl experiment, ve kterém 22 dobrovolníků mělo lhát o vybrané hrací kartě. Dobrovolníkům bylo sděleno, že v případě oklamání experimentátora budou odměněni 20 dolary. Ve skutečnosti byli odměněni všichni. Metodika p. Davatzikose dosáhla v průměru úspěšnosti 90% a byla licencována společností No Lie MRI, Inc. [16]

Navzdory slibným výsledkům je použitelnost v reálném životě stále otevřenou otázkou. Je třeba si uvědomit, že stejně jako polygraf, i funkční magnetická rezonance vyžaduje ochotný subjekt. Pokud daný jedinec nebude ochotný vstoupit do skeneru, odmítne odpovídat na dané otázky nebo bude poskytovat nesmyslné odpovědi, tato technika nemůže být použita. Pouhé pohnutí hlavou při skenování může zabránit ve sběru potřebných dat. [16]

## 4 POROVNÁNÍ METOD

Dle mého názoru je pro objektivní porovnání popsaných metod detekce emočního napětí potřeba ujit ve vývoji ještě velký kus cesty. Pokud by se některá experimentální metoda detekce lži nikdy neukázala jako použitelná ve skutečném světě, bylo by hloupé ji vychvalovat pro nějaké přednosti. K nějakému názoru jsem však během studování těchto metod došel.

### 4.1 Polygraf

Jako zásadní výhodu metody detekce lži polygrafem považuji jeho dlouholetý vývoj. Zhruba století vývoje polygrafu umožnilo jeho použití alespoň v nějaké míře po celém světě. Policie ČR použije polygraf i přes jeho úskalí zhruba stokrát za rok. Přesnost polygrafu se nedá jednoduše vyjádřit v číslech, protože se v různých podmínkách velmi liší, ale jen na základě rozsáhlosti jeho použití, bych nazval jeho přesnost jako uspokojivou. Z hlediska náročnosti technické realizace bych polygraf zařadil oproti elektroencefalografii a funkční magnetické rezonanci jako nejsnáze realizovatelný. Největší nevýhodou polygrafu je podle mého názoru vysoká náročnost na jeho obsluhu, kde je třeba vysoké odbornosti a mnoha zkušeností.

### 4.2 EEG

Za největší výhodu elektroencefalografie považuji její relativně snadnou kombinovatelnost s polygrafem, což by mohlo urychlit její vývoj. Kdyby se při reálných výsledcích na polygrafu přidával i elektroencefalograf jen za účelem získávání dat k následnému zkoumání, vyloučilo by to obecný problém s potenciálně nízkou autenticitou experimentů. Přesnost detekce lži elektroencefalografem jakožto experimentální metodou zatím podle mého názoru není možné určit, tudíž bych přesnost nazval jako slibnou. Technická realizovatelnost je podle mého názoru oproti polygrafu přijatelně vyšší. Jako podstatnou nevýhodu EEG vidím její vysokou citlivost na protiopatření. Trénovaný subjekt dokáže relativně spíše oklamat EEG než třeba fMRI. Subjekt dosáhne oklamání detektoru typicky nenápadným vytvářením emocí při dotazování na irelevantní stimul.

### 4.3 fMRI

U funkční magnetické rezonance nemůžu přehlédnout fakt, že je beze sporu metodou nejmodernější a technologií nejrychleji vyvíjející se, což zajišťuje vysokou technickou přes-

nost. Přesnost detekce emočního napětí však charakterizují stejně jako u EEG - slibná. Technická realizovatelnost je zejména kvůli vysokým finančním nákladům na pořízení stroje nejvyšší. Jako zásadní problém vidím, že je nutno pracovat s ochotnými subjekty, jinak je detekce lži takřka nerealizovatelná.



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 EXPERIMENT

Pro zhodnocení možnosti použití elektroencefalografu jako detektoru lži jsem provedl následující experiment. Elektroencefalografii jsem upřednostnil před funkční magnetickou rezonancí zejména kvůli realizovatelnosti. Získání přístupu ke skeneru fMRI pro studijní účely považuji vyloženě za nemyslitelné. V tomto experimentu je zaznamenáván EEG signál u subjektů, kteří jsou podrobováni smyšlenému výslechu. Při konstrukci použitých testů jsem vycházel ze znalostí získaných v teoretické části této práce, resp. jsem použil obdobné metody, jaké byly použity v předchozích studiích. Vyhodnocování naměřených signálů bylo provedeno vizuálním pozorováním křivek.

### 5.1 Laboratoř

Improvizovaná laboratoř a současně výslechová místnost byla pro studijní účely poskytnuta Fakultní nemocnicí Olomouc. Místnost o půdorysu zhruba 5x5 metrů, která běžně slouží jako školící místnost, byla vybavená pouze zařízením nutným k provedení tohoto experimentu. Místnost je situována v nejvyšším poschodí budovy, což má za následek nízký okolní pohyb osob a tudíž minimální okolní hluk, který by mohl subjekt při měření rušit a znehodnotit tak měření. Subjekt byl usazen tak, aby se po většinu doby testování díval do volného prostoru místnosti a nebyl rozptylován přístrojem nebo mnou.



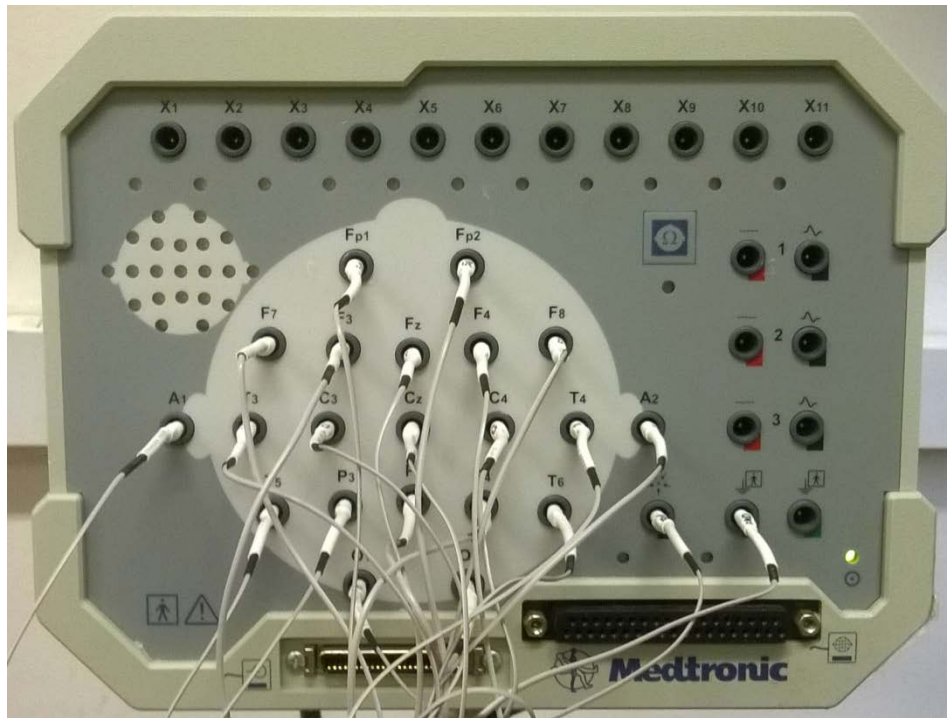
Obrázek 7 – výslechová místnost.

## 5.2 Použité vybavení

Pro záznam mozkové činnosti subjektů byl použit elektroencefalograf výrobce Walter Graphtek model PL-EEG Wavepoint, který byl včetně příslušenství pro studijní účely poskytnut rovněž Fakultní nemocnicí Olomouc. Zpracování dat proběhlo na integrovaném PC za použití softwaru Winsor rovněž od firmy Walter Graphtek. Dále byla použita elektrodová čepice standardního systému elektrod 10-20 výrobce Deymed diagnostic. Pro zvýšení elektrické vodivosti byl použit gel stejné značky. Tento gel také běžně používá i neurologická klinika Fakultní nemocnice.



Obrázek 8 – použité EEG vč. elektrodové čepice a integrovaného PC.

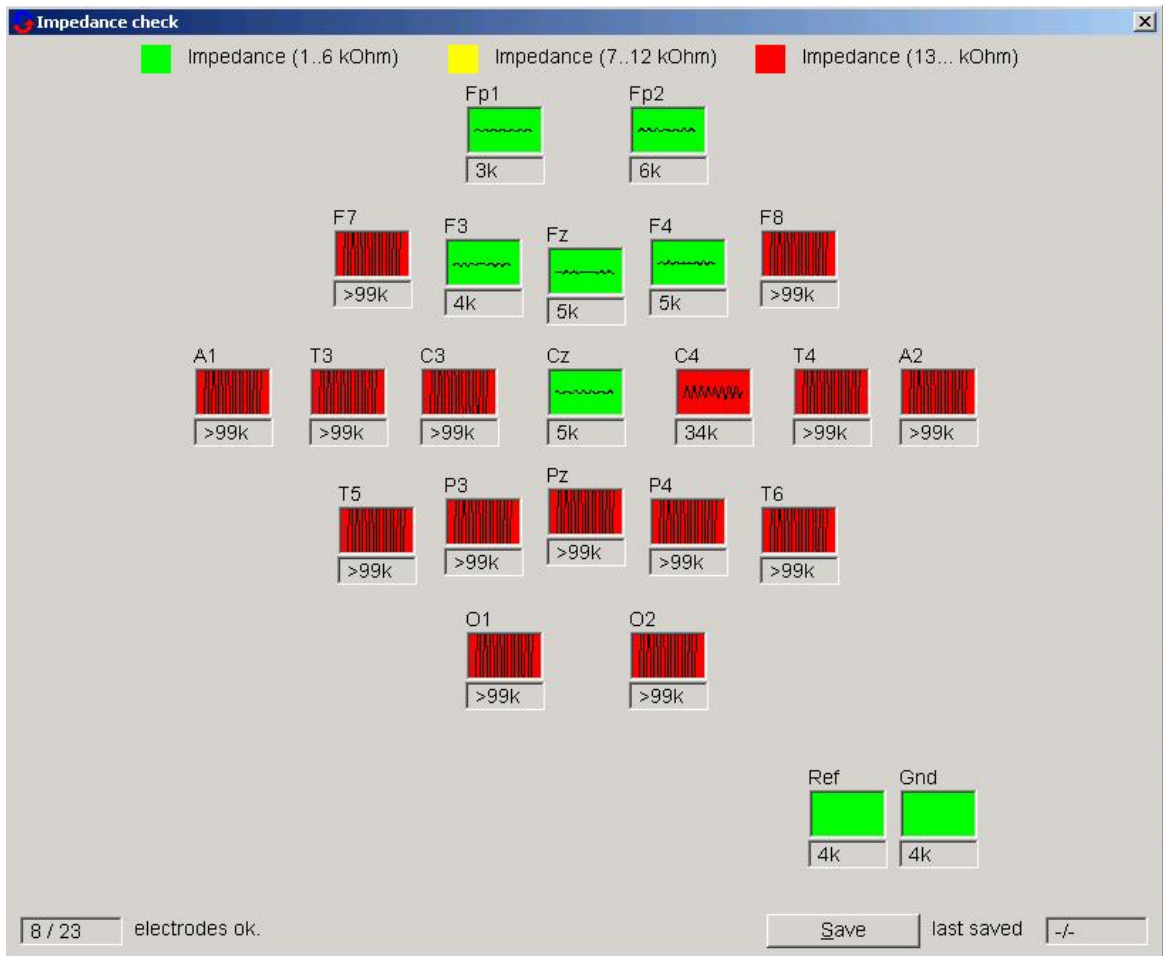


Obrázek 9 – zapojení elektrod do zesilovače EEG.

### 5.3 Příprava k měření

Problematika přípravy k měření na EEG spočívá zejména ve správném usazení elektrodové čepice. Dle návodu výrobce čepice je nutno správně určit její správnou orientaci, v tomto případě konec, ze kterého vychází kabeláž, směřuje dozadu. Dále je třeba dbát na to, aby elektrody s indexem „z“ (středové) byly uprostřed a v řadě za sebou. A neopomenout také, aby elektroda „Cz“ byla v jedné linii s ušima.

Po správném usazení čepice je nutno aplikovat elektricky vysoce vodivý gel pro snížení impedance mezi elektrodou a pokožkou hlavy. Obzvláště pokud chceme měřit i méně patrné signály, je nutno zajistit co nejnižší impedanci. Pokud má měřený subjekt husté, dlouhé vlasy, je zpravidla zapotřebí použít vodivého gelu více. Toto však může mít za následek roztečení gelu mezi dvě sousední elektrody a dojde k jejich zkratování. Na zkratovaných elektrodách budeme zaznamenávat shodný signál a nebude správně odpovídat ani jedné elektrodě. Pro správné nagelování elektrod je software Winsor vybaven nástrojem pro měření impedance. Tento nástroj umožňuje v reálném čase sledovat na obrazovce impedanci jednotlivých elektrod a obsluha může elektrody příslušně přizpůsobovat.



Obrázek 10 – nástroj pro měření impedance elektrod.

Na obr. 10 je znázorněna vhodná impedance pro měření na elektrodách Fp1, Fp2, F3, Fz, F4, Cz, Ref a Gnd. Dle legendy je zřejmé, že pro kvalitní měření je třeba dosáhnout impedance do 6 k $\Omega$ . U měření, kde není potřeba vysoké přesnosti, postačí impedance do 12 k $\Omega$ . Při vyšší impedanci je však zaznamenáván spíše šum než EEG signál.

## 5.4 Měření emočního napětí

Před samotným karetním testem a testem znalosti odcizeného předmětu, bylo provedeno zaznamenávání EEG při různých stavech subjektu. Toto bylo provedeno ze dvou důvodů. Jednak pro ověření, že přístroj poskytuje důvěryhodný záznam. A také pro získání nějakých představ, jakých změn je možno v záznamu očekávat. Zkoumaný subjekt jsem byl já sám a zkoumány byly tři stavy. Klidový stav – subjekt měl zavřené oči, byl co nejvíce uvolněný a nereagoval na žádné podněty. Stav „počítání“ – při tomto stavu subjekt počítal na papíru matematické rovnice. Stav „hraní“ – subjekt hrál akční hru na smartphonu. V každém stavu subjekt setrval zhruba 15 minut a mezi jednotlivými úkoly byla zhruba pětiminutová přestávka. EEG záznam byl pořizován po celou dobu a pro vytyčení jednotlivých stavů byly použity softwarové funkce představující otevření/zavření očí. Celá procedura byla opakována třikrát. Jednak pro získání alespoň nějaké statistiky (pro porovnání korelace záznamů stejných stavů) a také kvůli zredukování možných okolních vlivů, zejména rušení hlukem při klidovém stavu.

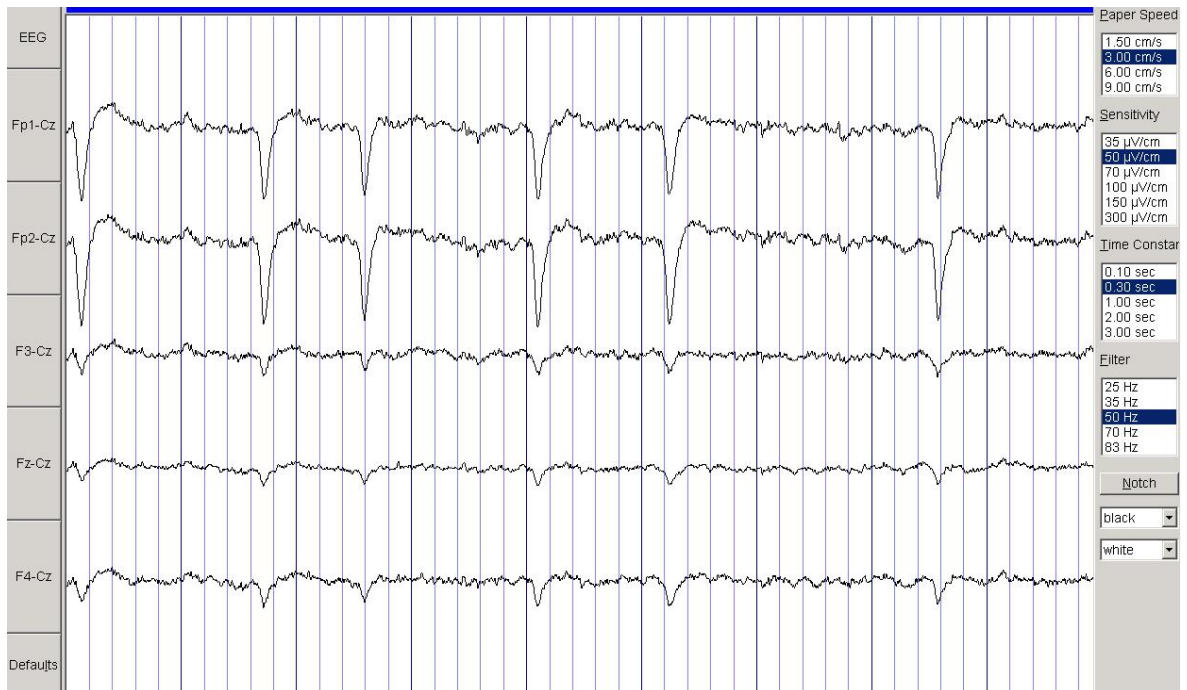
Pro celý experiment bylo zvoleno měření EEG signálů pouze ve frontální části hlavy. Hlavním důvodem je poznatek z kapitoly fMRI, kde byla tato oblast označena jako pravděpodobné ohnisko signálů vyskytujících se při lhaní. Dalšími důvody jsou zmírnění komplikací při snižování impedance na elektrodách a zjednodušení zpracovávání pořízeného záznamu. Byl nastaven mód pro měření těchto pěti kanálů: Fp1 – Cz, Fp2 – Cz, F3 – Cz, Fz – Cz a F4 – Cz. Čili byla použita centrální elektroda Cz jako výchozí bod vůči pěti elektrodám před ní.

### 5.4.1 Klidový stav



Obrázek 11 – na tomto obrázku je vyobrazen zjištěný typický průběh EEG při klidovém stavu. Maximální amplituda v reálném čase na kanálech Fp1-Cz a Fp2-Cz dosahuje 60  $\mu\text{V}$  a na kanálech F3-Cz, Fz-Cz a F4-Cz 40  $\mu\text{V}$ . Malá zvlnění jsou způsobena spíše impedancí na elektrodách než mozkovou aktivitou.

### 5.4.2 Stav počítání



Obrázek 12 – při řešení matematických rovnic byly v EEG záznamu nalezeny typické hroty. Na kanálech Fp1-Cz a Fp2-Cz tyto hroty dosahují amplitudy od 80 do 150  $\mu\text{V}$ . Na kanálech F3-Cz, Fz-Cz a F4-Cz dosahují zhruba 20-50  $\mu\text{V}$ . Jelikož je vzdálenost elektrod Fp1 a Fp2 od středové elektrody dvojnásobná oproti vzdálenosti elektrod F3, Fz a F4 od středové elektrody, přičemž hroty jsou více než dvojnásobné na kanálech Fp1-Cz a Fp2-Cz oproti kanálům F3-Cz, Fz-Cz a F4-Cz, dá se usoudit, že hroty jsou způsobovány mozkovou aktivitou spíše ve frontální oblasti než v oblasti přední cingulární kůry.

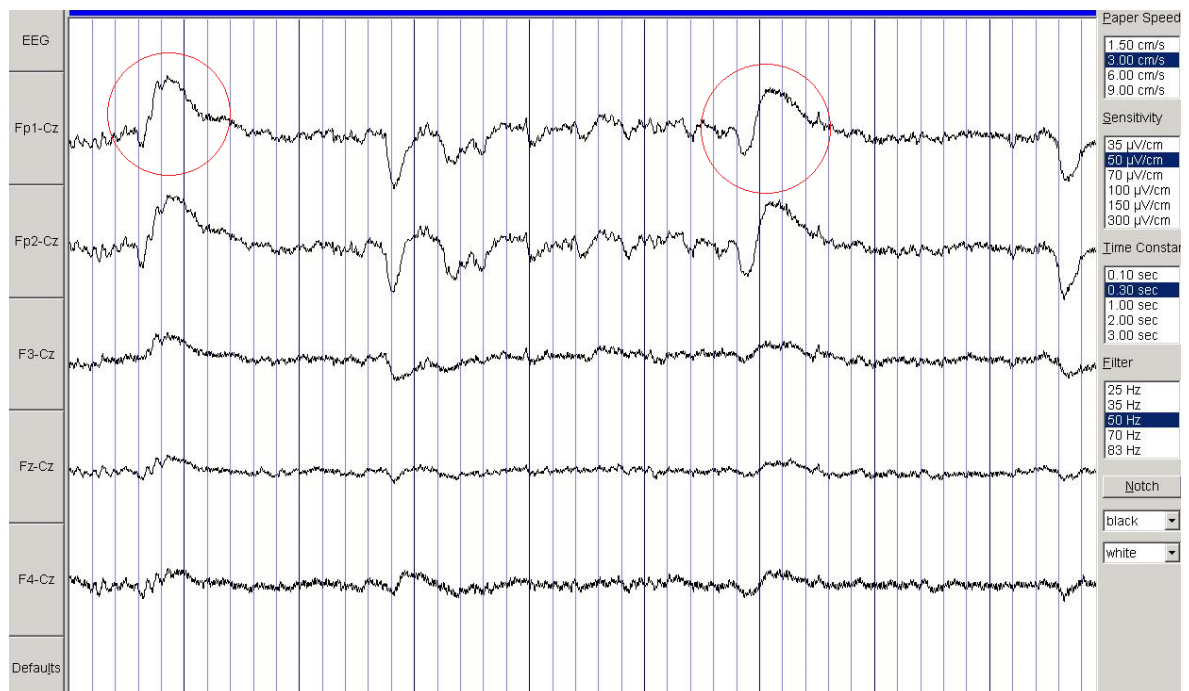


### 5.4.3 Stav hraní



Obrázek 13 – při hraní akční hry na smartphonu je záznam typicky naprosto nekonzistentní. Střídají se i delší i kratší úseky klidnějších průběhů (pravá třetina vyobrazeného záznamu) i dramatičtějších průběhů (dvě třetiny levé části vyobrazeného záznamu). Maximální amplituda za 0,5 sekund dosahuje 180  $\mu\text{V}$  na kanálech Fp1-Cz a Fp2-Cz a až 80  $\mu\text{V}$  na kanálech F3-Cz, Fz-Cz a F4-Cz. Oproti matematickému počítání se dá u hraní předpokládat, že mozková aktivita ve frontální části i v přední cingulární kůře je vyrovnanější.

#### 5.4.4 Otevření očí



Obrázek 14 – při klidovém stavu bylo omylem zjištěno, že otevření očí způsobuje charakteristický průběh. Na obrázku je označen červenými kružnicemi. Vyloženě se nabízí, že je průběh mnohem markantnější ve frontální oblasti než přední cingulární kůře. Tento průběh byl také ověřován u tří účastníků experimentu. Ve všech případech otevírání očí vykreslovalo podobný, takřka stejný průběh.

## 5.5 Provedení experimentu

Na skupině dobrovolníků jsem aplikoval karetní test a test znalosti odcizeného předmětu, přičemž byla zaznamenávána jejich mozková aktivita elektroencefalografem. Subjekt si vybral jednu ze sedmi hracích karet a já jsem hádal, která to byla. Subjekt svoji kartu zapsal do tabulky na připravený papír. Zvolil jsem použití karet čtyřka až desítka piková. Jen jednu „barvu“ jsem zvolil proto, abych zamezil potenciálním osobním vztahům subjektů k různým „barvám“ karet. Ze stejného důvodu jsem zvolil pouze číselné karty, aby dotazy na „kluka“ nebo „dámu“ subjektům nenavozovaly zbytečné irelevantní myšlenky. Otázka na vybranou kartu zněla „vybral jste si čtyřku pikovou?“ Subjekt měl za úkol na každou otázku (i v případě vybrané karty) odpovědět „ne, nevybral“. Interval mezi dotazy na jednotlivé karty byl dlouhý 15 sekund. Pokus byl u každého subjektu opakován pětkrát. U jediné karty ze sedmi jsem očekával objevení společné anomálie nebo anomálií na záznamu EEG, zejména ve frontální části mozku nebo v oblasti přední cingulární kůry. Na jednotlivé karty jsem se nedotazoval postupně (4, 5, 6,...), ale nahodile dle připravené tabulky, abych zamezil subjektům přemýšlet nad tím, že už se blíží jeho karta.

Pro test znalosti odcizeného předmětu jsem použil sedm předmětů. Peněženku, hodinky, náušnice, tisícikorunu, prsten, klíče od auta a mobilní telefon. Předměty byly položeny na připraveném stole a zakryté utěrkou, aby nebyly vidět. Subjekt si ještě před zahájením testování jeden předmět vybral nahmatáním tak, aby neviděl ty ostatní. Tento předmět si zapсал do připravené tabulky a předmět si vložil do kapsy. Po skončení karetního testu jsem subjekt vyzval, ať si vybaví předmět, který si na začátku vybral a postupně jsem se na dané předměty dotazoval obdobně jako v karetním testu.

Po skončení série testů subjekty odevzdaly své vyplněné tabulky tak, abych výsledky neviděl, abych jimi nebyl ovlivněn při hledání anomálií. Abych zvýšil serióznost testů, dobrovolníkům jsem sdělil, že v případě úspěšného oklamání testu obdrží finanční odměnu 400,- korun, ale v případě neúspěchu pouze 200,- korun. Ve skutečnosti však byli všichni odměněni finanční odměnou 400,- korun. Jelikož subjekty byly testovány postupně, bylo třeba brát zřetel na to, aby subjekty již testované nepřišly do styku se subjekty čekajícími, aby jim nevyzradily žádné informace o tom, jak test probíhá. Mohlo by to mít za následek jejich snížení respektu vůči testu a tím ke snížení jejich reakcí na dotazovanou kartu nebo předmět.

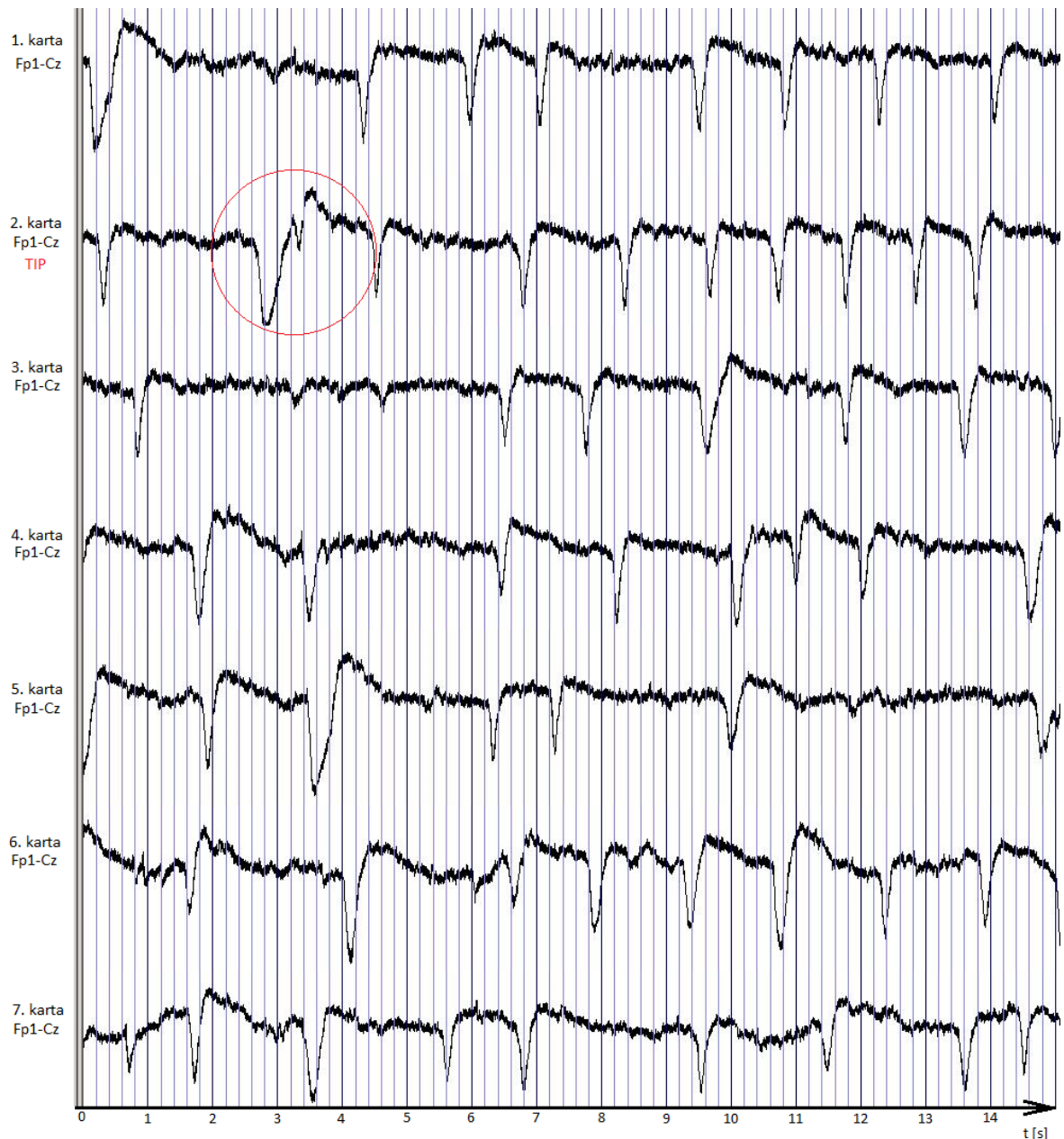
Pro první experimentování jsem zvolil skupinu tří dobrovolníků. Pouze tři subjekty jsem zvolil pro snazší zvládnutí testů. Testování bylo i po časové stránce poměrně náročné kvůli přípravným pracím před samotným měřením. Ideální usazení elektrodové čepice, nago-  
vání elektrod k dosažení přijatelné impedance a instruktáž subjektu byly časově náročnější než samotný výsledek. Jako první subjekty jsem volil pouze muže, abych se vyhnul potenci-  
álním problémům s dlouhými vlasy žen. Delší vlasy by pravděpodobně vyžadovaly ještě pečlivější gelování elektrod a v krajním případě by vysoká impedance mohla úplně zne-  
možnit měření na daném subjektu.

## 5.6 Subjekt #1

### 5.6.1 Parametry subjektu

Subjektem č. 1 je muž ve věku 29 let, dosažené vzdělání – SŠ s maturitou, zaměstnanec.

### 5.6.2 Naměřené EEG



Obrázek 15 – subjekt #1, první série karet, data kanálu Fp1-Cz. Červená kružnice označuje anomálii, která rozhodla o vybrání druhé karty jako tipované. Karta byla tipována správně.

První subjekt se při podrobování testu jevil poměrně uvolněně, projevoval jen mírné známky nervozity, patrně se jednalo o přirozenou reakci na cizí prostředí.

Na obr. 15 jsou znázorněna naměřená EEG při dotazování na jednotlivé karty. Pořadí od vrchu je dané dle pořadí karet, na které jsem se dotazoval. Jeden záznam trvá 15 sekund. V tomto případě jsou vyobrazeny vybrané záznamy pouze z kanálu Fp1-Cz. Měření bylo na stejných kanálech jako v kapitole 5.4 (Fp1 – Cz, Fp2 – Cz, F3 – Cz, Fz – Cz a F4 – Cz), ale na jiných kanálech než na Fp1-Cz nebyl objeven žádný zajímavý nález. Za zajímavý nález je zde považován úkaz označený červenou kružnicí u druhé karty. Tato karta byla zvolena jako tipovaná a byla to skutečně ona. Bohužel se tento nález v dalších sériích neobjevil a všechny ostatní tipy byly nesprávné. Dá se tedy usuzovat, že tento nález je pravděpodobně náhodný a neplatný. Při dotazování na vybraný předmět se subjekt projevoval mírně odlišně u dvou předmětů. Jeden z těchto dvou předmětů byl tipnut tzv. technikou padesát na padesát. Tipovaný předmět byl prsten a byl to skutečně on. Druhý potenciální tip by byly náušnice. Z tohoto bylo usouzeno, že subjekt reagoval obdobně na jediné dva šperky, které se v dotazech na předmět vyskytovaly. Čili bylo usouzeno, že tento tip je rovněž náhodný a neplatný. Možná však subjekt svůj předmět považoval spíše za šperk než konkrétně za prsten a mohlo by se jednat o významný a platný nález.

### 5.6.3 Výsledek

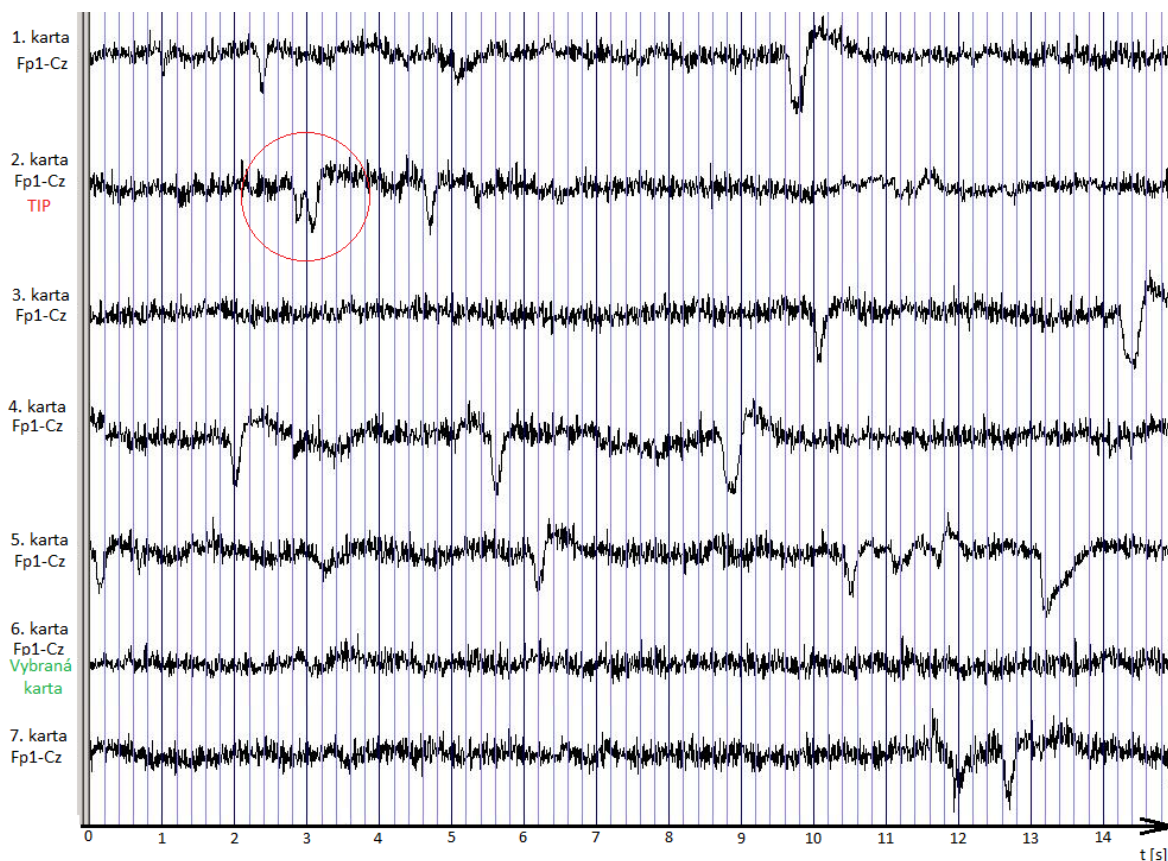
Experimentování se subjektem č. 1 nepřineslo žádný konkrétní a spolehlivý přínos, pouze potenciální nálezy.

## 5.7 Subjekt #2

### 5.7.1 Parametry subjektu

Subjektem č. 2 je muž ve věku 50 let, inženýr v oboru strojírenství, zaměstnanec.

### 5.7.2 Naměřené EEG



Obrázek 16 – subjekt #2, první série karet, data kanálu Fp1-Cz. Červená kružnice označuje anomálii, která rozhodla o vybrání druhé karty jako tipované. Karta byla tipována špatně. Subjekt vybral kartu šestou.

Druhý subjekt byl evidentně po celou dobu testování naprosto nad věcí a nejevil vůbec žádné známky nervozity. Na obr. 16 jsou znázorněna naměřená EEG za stejných podmínek jako u subjektu #1. V tomto případě si subjekt vybral kartu šestou v pořadí, této kartě odpovídá vyloženě nejmírnější průběh. Takových průběhů však bylo v dalších sériích naměřeno nespočet. U tohoto subjektu nebyl objeven ani minimální náznak jakékoliv interkorelace mezi vybranými kartami, ani vybraného předmětu.

### 5.7.3 Výsledek

Experimentování se subjektem č. 2 nepřineslo vůbec žádný konkrétní přínos.

## **5.8 Subjekt #3**

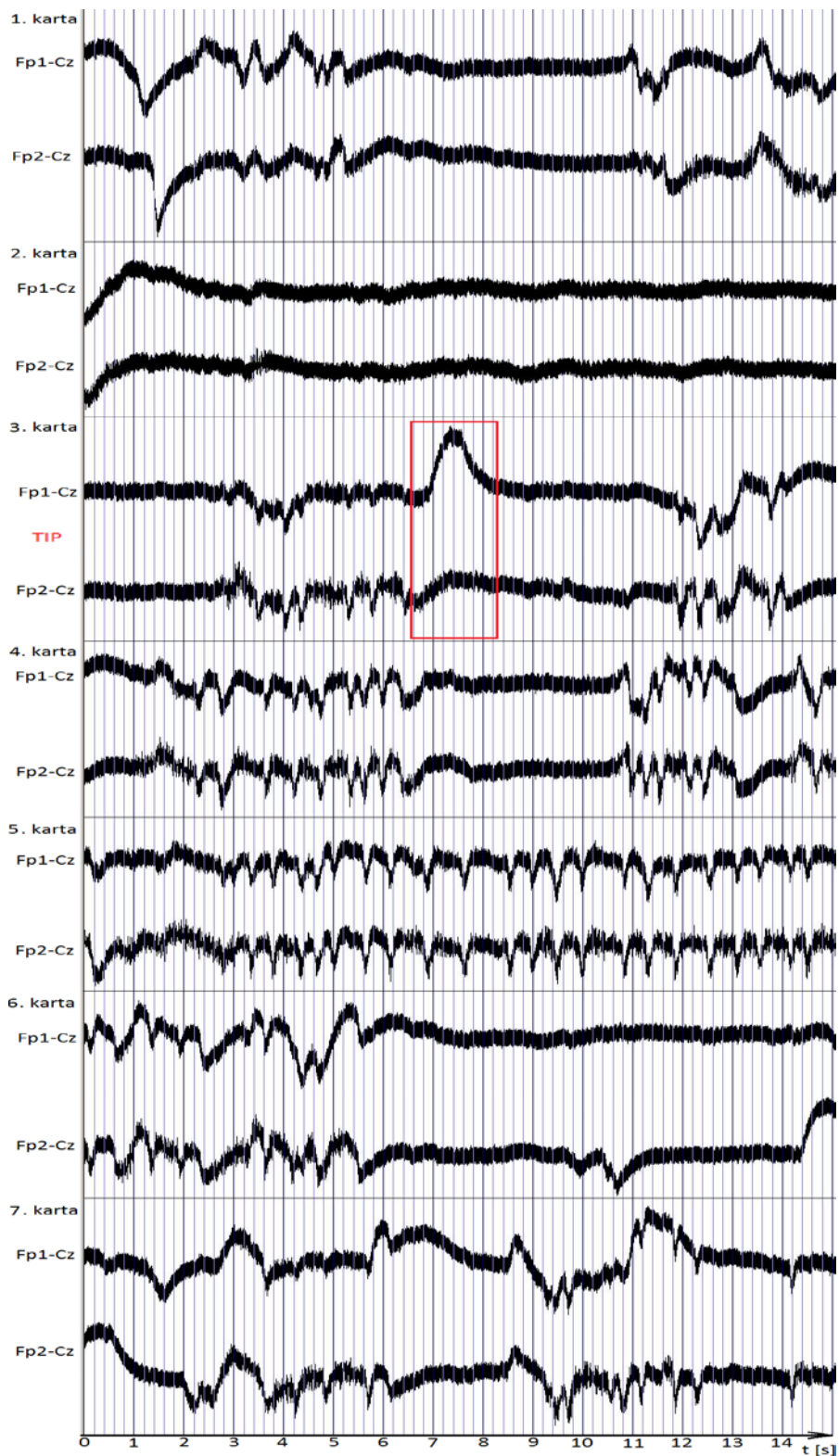
### **5.8.1 Parametry subjektu**

Subjektem č. 3 je muž ve věku 25 let, bakalář, student.

Poznámka: Subjekt měl delší, husté a tvrdé vlasy, které výrazně komplikovaly usazení elektrodové čepice a gelování elektrod. Impedanci na elektrodách se podařilo snížit pouze na přijatelnou úroveň. Důsledkem je více zvlněný signál.



## 5.8.2 Naměřené EEG



Obrázek 17 – subjekt #3, třetí série karet, data kanálů Fp1-Cz a Fp2-Cz. Červený obdélník označuje anomálii, která rozhodla o vybrání druhé karty jako tipované. Karta byla tipována správně.

Třetí subjekt se již před začátkem testování jevil mírně nervózně. Při oznámení pravidel s finanční odměnou byla na tomto subjektu velmi zřejmá motivace a subjekt vypadal velmi napjatý a nervózní. Hned při první sérii karet se subjekt při dotazování na jeho kartu zakoktal, čímž ji prozradil. Po chvilce na uklidnění test pokračoval dále. Druhá série proběhla bez problémů, ale na příslušném záznamu nebyl objeven žádný zajímavý nález související s vybranou kartou. Při třetí sérii však byla hned v průběhu testování spatřena anomálie a příslušná karta byla označena jako tipovaná. Tato anomálie je označena červeným obdélníkem na obr. 17. Na tomto obrázku je znázorněno sedm dvojic naměřených signálů. Horní křivka v dané dvojici reprezentuje kanál Fp1-Cz, spodní křivka Fp2-Cz. Tyto dva kanály jsou ve většině případů vůči sobě téměř souhlasné. Ve čtvrté sérii byla obdobně hned při testování tipována další karta. Obě dvě tyto karty byly tipovány správně a daný nález byl označen jako potenciálně průlomový. V poslední páté sérii však ke stejné anomálii nedošlo a karta tipovaná více méně na náhodu byla tipována špatně. U dvou předmětů byla zaznamenána poměrně velká změna amplitudy (u klíče od auta a u hodinek). Tipován byl klíč od auta, ale vybraný předmět byl prsten. Nebyl zjištěn žádný nález, který by vedl k prstenu.

Po skončení testování subjektu č. 3 subjekt přiznal, že bral experiment velmi vážně a po celou dobu testování se snažil například smyšleným popěvováním záznamy rušit. Toto protiopatření údajně vedlo k jeho zakoktání se při první sérii karet.

Anomálie nalezená ve třetí a čtvrté sérii karet subjektu #3 byla následně použita při zkoumání záznamů subjektů #1 a #2. Bohužel nebyla nalezena žádná pádná interkorelace. Jednou z možností je, že první dva subjekty v důsledku slabé stimulace nevykazovaly žádné spolehlivé fyziologické reakce. Druhou možností je, že nálezy souvisí spíše s protiopatřeními subjektu #3 a souvislost s uhodnutými kartami je pouze náhodná.

### 5.8.3 Výsledek

Experimentování se subjektem č. 3 přineslo data vhodná pro další zkoumání.

## 5.9 Vyhodnocení experimentu

Přestože tento experiment nepřinesl žádný konkrétní důkaz o použitelnosti EEG jako detektoru lži, je dle mého názoru provedený experiment i přes svou maximální jednoduchost přínosem cenných poznatků použitelných pro další potenciální zkoumání. Na základě těchto poznatků doporučuji metodu EEG pro další zkoumání v oblasti detekce lži. Za zásadní důvod nevalných výsledků provedeného experimentu považuji zejména slabou stimulaci prvních dvou subjektů. Mám dojem, že tyto dva subjekty zdaleka nepocítovaly atmosféru skutečného výsledku a tudíž neprojevovaly při lhaní adekvátní fyziologické reakce. Další zásadní problém je získání malého množství naměřených hodnot, které je dáno nízkým počtem subjektů a nízkým počtem provedených sérií otázek. Návrhy pro vylepšení testu jsou:

- rozšíření pěti karetních sérií na deset
- vybírání testovaných dobrovolníků tak, aby byli více stimulováni finanční odměnou (studenti, nezaměstnaní)
- rozšíření použitých elektrod o elektrody F7, F8, T3, C3, C4 a T4
- hledání anomálií ve více módech, například přemístování výchozí elektrody z Cz na Fz, F3 a F4
- dosažení nižší impedance a zkoumat tak i mírnější změny EEG signálu
- testování více dobrovolníků
- dotazování subjektů po skončení výsledku na téma, jak k výsledku přistupovaly, jak se cítily, zdali se snažily použít nějaká protiopatření, či nikoliv

## ZÁVĚR

Cíle této práce stanovené v jejím úvodu jsou vypracovány v příslušných kapitolách. V teoretické části je popsán úvod do detekce emočního napětí s přechodem k uplatnění této techniky v kriminalistice pro detekci lži. Všechny tři stanovené metody jsou v teoretické části popsány a na konci této části je uvedeno jejich porovnání.

V praktické části je popsán provedený experiment, který měl za úkol nastínit možnost použití metody elektroencefalografie k detekci emočního napětí respektive k detekci lži. V provedeném rozsahu sice experiment tuto možnost dle očekávání přímo nepotvrdil, ani nevyloučil, ale poodkryl jistý náhled v tomto směru a stanovil možnosti pro další zkoumání této metody k účelu detekci lži. Osobně jsem na základě provedeného experimentu přesvědčen, že elektroencefalografie je blízkou a revoluční budoucností v oblasti detekce lži a nahradí nebo doplní polygraf.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] DONG, Y., HU, Z., UCHIMURA, K., MURAYAMA, N. Driver Inattention Monitoring System for Intelligent Vehicles: A Review, 2011, vol. 12, no. 2.
- [2] RANI, P., SIMS, J., BRACKIN, R., SARKAR, N. Online stress detection using psychophysiological signals for implicit human-robot cooperation, 2002.
- [3] GRUBIN, D., MADSEN, L. Lie detection and the polygraph: A historical review. *Journal of Forensic Psychiatry and Psychology*, 2005, 16(2), p. 357-369.
- [4] SKOLNICK, Jerome H. Scientific theory and scientific evidence: An Analysis of Lie-Detection. *The Yale Law Journal*, 1961, vol. 70, no. 5, p. 694-728.
- [5] ROSENFELD, J. P. *Alternative Views of Bashore and Rapp's*, 1995.
- [6] WOLPE, P. R., FOSTER, K., LANGLEBEN, D.D. Emerging neurotechnologies for lie-detection: promises and perils. *American Journal of Bioethics*, 2005, vol. 5, no. 2, p. 39-49.
- [7] NIEDERMAYER, E., Da SILVA, F.L. *Electroencephalography: Basic principles, Clinical Applications and Related Fields*, 2004.
- [8] ABOU-KHALIL, B., MUSILUS, K.E. *Atlas of EEG & Seizure Semiology*, 2006.
- [9] TATUM, W.O., HUSAIN, A. M., BENBADIS, S.R. *Handbook of EEG Interpretation*. Demos Medical Publishing, 2008.
- [10] TOWLE, L. V. The spatial location of EEG electrodes: locating the best-fitting sphere relative to cortical anatomy, 1993, vol. 86, no. 1, p. 1-6.
- [11] BLUMHARDT, L.D., BARRETT, G., HALLIDAY, A.M., KRIS, A. The asymmetrical visual evoked potential to pattern reversal in one half field and its significance for the analysis of visual field effects, 1977, p. 454-461.
- [12] ZUKOV, I., PTACEK, R., FISCHER, S. *EEG Abnormalities in different types of criminal behavior*, 2008.
- [13] NUNEZ, P.L, SRINIVASAN, R. *Electric Fields of the Brain: The Neurophysics of EEG*, Second Edition, 2006.
- [14] BUXTON, B. R. *The physics of functional magnetic resonance imaging (fMRI)*, 2013.
- [15] CARR, V.A., RISSMAN, J. WAGNER, A.D. *Imaging the medial temporal lobe with high-resolution fMRI*, 2010.

- [16] SIMPSON, J. R. Functional MRI Lie Detection: Too Good to be True? *Journal of the American Academy of Psychiatry and the Law Online*, 2008, vol. 36, no. 4, p. 39-49.
- [17] GAJDOŠ, M. *Porovnání metod efektivní a funkční konektivity ve funkční magnetické rezonanci*. Brno, 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [18] Epilepsy Awareness Program – EEG (Electroencephalography). *Biomedresearches*. [online]. [2010] [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.biomedresearches.com>
- [19] fMRI Machine Will Expand Research Capabilities. *UConn Today*. [online]. 9.1.2014 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://today.uconn.edu/>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

- CT Počítačová tomografie.
- EEG Elektroencefalograf, elektroencefalografie.
- ERP Křivka mozkové činnosti zaznamenaná použitím EEG.
- MRI Magnetická rezonance.
- fMRI Funkční magnetická rezonance.

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 – ilustrační obrázek EEG.....	19
Obrázek 2 - zobrazení rozmístění elektrod .....	23
Obrázek 3 – mozkové vlny .....	24
Obrázek 4 – ilustrační obrázek skeneru fMRI.....	26
Obrázek 5 – CBF – Mozkový krevní tok.....	27
Obrázek 6 – základní data získaná fMRI.....	28
Obrázek 7 – výsledková místnost. ....	34
Obrázek 8 – použité EEG vč. elektrodové čepice a integrovaného PC.....	35
Obrázek 9 – zapojení elektrod do zesilovače EEG.....	36
Obrázek 10 – nástroj pro měření impedance elektrod. ....	37
Obrázek 11 – klidový stav. ....	39
Obrázek 12 – počítání. ....	40
Obrázek 13 – hraní.....	41
Obrázek 14 – otevření očí.....	42
Obrázek 15 – subjekt #1, první série karet .....	45
Obrázek 16 – subjekt #2, první série karet .....	47
Obrázek 17 – subjekt #3, třetí série karet .....	49